



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTA DE INGENIERIA



"CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN PARA  
FILTRO PRENSA"  
COMPLEJO PETROQUIMICO LA CANGREJERA,  
COATZACOALCOS, VERACRUZ.

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERIA CIVIL

PRESENTA:

JORGE ALBERTO CASTILLO REYES



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 INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/218/99

Señor **JORGE ALBERTO CASTILLO REYES,**  
Presente .

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

**“CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIÓN PARA FILTRO PRESA COMPLEJO  
PETROQUÍMICO LA CANGREJERA COATZACOALCOS VERACRUZ”**

**Introducción.**

- I. Descripción del proyecto.**
- II. Análisis de riesgo en el impacto ambiental.**
- III. Estudio de mecánica de suelos.**
- IV. Análisis de diseño estructural de la subestación.**
- V. Proceso constructivo de la subestación.**

**Bibliografía.**

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 les 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 5 de noviembre de 1999.

EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/GMP/ser

## AGRADECIMIENTOS

### A MIS PADRES:

CON CARIÑO Y APRECIO DEDICADO A LAS DOS PERSONAS QUE CON SU ESFUERZO Y DEDICACION HICIERON POSIBLE LA CULMINACION DE ESTE OBJETIVO Y POR SOBRETODAS LAS COSAS CONVERTIRME EN UNA PERSONA RESPONSABLE Y DE BIEN PARA SEGUIR CUMPLIENDO CON TODAS LAS METAS QUE ME QUEDEN POR CUMPLIR.

### A MIS HERMANOS OSCAR Y MONICA:

A QUIENES LES DESEO LA MEJOR DE LAS SUERTES EN TODOS LOS PROYECTOS QUE EMPRENDAN Y DE LOS QUE ESPERO SEGUIR CONTANDO CON SU CARIÑO Y APOYO CON EL PASO DE LOS AÑOS.

### A LIZZETTE:

A LA QUE OFRESCO ESTE TRABAJO COMO MUESTRA DE CARIÑO Y AGRADECIMIENTO POR TODO SU APOYO Y AMOR DURANTE LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO, POR COMPARTIR CONMIGO TODAS SUS ALEGRÍAS Y TRISTEZAS, POR ESTAR A MI LADO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS SIN ESPERAR NADA A CAMBIO Y MAS IMPORTANTE AUN, OFRECERME LA OPORTUNIDAD DE COMPARTIR SU VIDA A MI LADO.

# **TEMA: Construcción de Subestación para Filtro Prensa**

## **Complejo Petroquímico La Cangrejera, Coatzacoalcos, Veracruz**

|  | Pagina |
|--|--------|
| <b>Introducción</b>  | 1      |
| <b>1. Descripción del Proyecto</b>                             | 5      |
| 1.1 Generalidades del proyecto                                 | 5      |
| 1.2 Alcance del proyecto                                       | 6      |
| <b>2. Análisis de Riesgo en el Impacto Ambiental</b>           | 13     |
| 2.1 Introducción   | 13     |
| 2.1.1 Antecedentes generales                                   | 13     |
| 2.1.2 Marco jurídico   | 17     |
| 2.1.3 Niveles de atención                                      | 19     |
| 2.2 Criterios básicos para la evaluación de riesgos            | 21     |
| 2.3 Sistema de Información Rápida de Impacto Ambiental (SIRIA) | 23     |
| 2.4 Regulación de actividades altamente peligrosas             | 26     |
| 2.5 Criterios y procedimientos                                 | 27     |
| 2.6 Naturaleza del riesgo                                      | 28     |
| 2.6.1 Definición de riesgo                                     | 28     |
| 2.6.2 Tipos de riesgos   | 30     |
| 2.6.3 Cuantificación y comparación del riesgo                  | 33     |
| 2.6.4 Ejemplos de grado de riesgo                              | 37     |
| 2.7 Identificación de peligros                                 | 39     |
| 2.7.1 Productos químicos reactivos, inflamables y explosivos   | 40     |
| <b>3. Estudio de Mecánica de Suelos</b>                        | 43     |
| 3.1 Alcances del estudio                                       | 43     |
| 3.2 Geología regional y zonificación de suelos                 | 44     |
| 3.3 Geología estructural                                       | 46     |
| 3.4 Exploración y muestreo                                     | 49     |
| 3.5 Ensayes de laboratorio                                     | 50     |
| 3.6 Análisis de resultados                                     | 51     |
| 3.7 Capacidad de carga del suelo                               | 52     |
| 3.8 Conclusiones y recomendaciones para la cimentación         | 52     |

|   |            |
|---|------------|
| <b>4. Análisis y Diseño Estructural de la Subestación</b> | <b>53</b>  |
| 4.1 Generalidades   | 53         |
| 4.2 Estructuración  | 54         |
| 4.3 Análisis de cargas                                    | 59         |
| 4.3.1 Análisis de cargas gravitacionales                  | 59         |
| • Carga muerta  | 59         |
| • Carga viva  | 60         |
| 4.3.2 Análisis de cargas accidentales                     | 61         |
| • Carga de sismo  | 61         |
| 4.4 Diseño de elementos estructurales                     | 70         |
| • Losas   | 71         |
| • Trabes  | 75         |
| • Columnas  | 78         |
| 4.5 Diseño de la cimentación                              | 83         |
| <br>  |            |
| <b>5. Proceso Constructivo de la Subestación</b>          | <b>99</b>  |
| 5.1 Procedimiento constructivo                            | 99         |
| 5.1.1 Subestructura                                       | 99         |
| 5.1.2 Estructura  | 107        |
| <br>  |            |
| <b>6. Conclusiones y Recomendaciones</b>                  | <b>115</b> |
| <br>  |            |
| <b>Bibliografía</b>                                       | <b>117</b> |

## Introducción

Pemex Petroquímica, pretende ampliar y revisar el Sistema de Tratamiento de Efluentes del Complejo Petroquímico "La Cangrejera", el cual esta ubicado al sur del estado de Veracruz, al sureste de la República Mexicana.

El objetivo principal del presente Estudio, es el definir y determinar las causas, orígenes, estado actual y consecuencias de las instalaciones del Sistema de Tratamiento de Efluentes del Complejo Petroquímico la Cangrejera.

En casi todas las actividades de estas plantas, la contaminación del subsuelo por hidrocarburos en tiempos pasados era una actividad común. Actualmente con las políticas ecológicas y de protección ambiental con las que se opera han disminuido considerablemente el evento no obstante la contaminación existente desde hace tiempo, así como lo que involuntariamente se propiciara debe ser constantemente monitoreada para tener parámetros de trabajo con los que se garantice la protección ambiental conforme a las Normas vigentes en el País.

Cuando los productos de hidrocarburos son acarreados al subsuelo estos pueden tener diversas consecuencias, pero las mas graves pueden ser tales como su arribo a las aguas freáticas las cuales por su gradiente y flujo subterráneo pueden transportar los residuos de los productos hacia lugares en los que sean extraídas y ser empleadas tanto para riego como para consumo humano.

Sinopsis histórica y estadística de la energía.

Energía

Los balances energéticos anuales, publicados por la Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal, incluyen nueve fuentes: nucleoenergía, geoenergía, hidroenergía carbón, petróleo crudo, condensado, gas natural, bagazo de caña y leña. Asimismo, dichos balances muestran las estructuras y los flujos de energía en cuanto a oferta, transformación y consumo final. El detalle de cada uno de estos tres rubros.

Los ámbitos antes mencionados tienen incidencias en magnitudes diversas en la contaminación atmosférica, además de los riesgos por accidentes.

En producción, las actividades susceptibles de contaminar son la exploración y la extracción, en la transformación, las actividades de refinación y elaboración de petroquímicos; previo al consumo, las actividades de transporte y distribución. Sobre todo los procesos, es preciso generar mayor información particularmente la relativa al consumo final de la energía, por ser la actividad cuya combustión provoca altos volúmenes de contaminación y toxicidad.

Es importante destacar que el consumo energético en el sector industrial, es desagregando en 13 ramas intensivas en uso energético (las que ocuparan poco mas del 80 por ciento de la energía consumida por el sector); aluminio, siderurgia, hule, construcción, automotriz, petroquímica básica, azúcar, minería, fertilizantes, cemento, química, celulosa - papel y vidrio. Por el uso intensivo de energía, todas estas ramas impacian de manera significativa la calidad del aire.

Las fuentes energéticas de mayor impacto ambiental son: el carbón mineral, el petróleo y sus derivados y la energía nuclear. Las áreas principales de impacto son aguas (superficiales, subterráneas, interiores y marinas), tierras y suelos, vida silvestre, riesgos por accidente y efectos directos a la salud por ruidos, olores e impactos visuales.

El carbón parece ser el que más efectos negativos genera. La explotación a cielo abierto de las minas carboníferas altera la geografía y deteriora los terrenos en explotación. Las minas subterráneas afectan la infraestructura que se encuentra en la superficie.

Además, la pulverización del carbón deriva en partículas dañinas, que pueden ocasionar incendios y explosiones; la gasificación a su vez, contamina aguas residuales. En la generación de electricidad, el carbón emite partículas volátiles y lluvia ácida, y contribuye en gran medida a acentuar el efecto invernadero.



Acerca de los hidrocarburos su repercusión más importante es la lluvia ácida que se produce por la generación de electricidad. También están los derrames y los riesgos por explosiones en plantas suministradoras de combustibles localizadas en lugares cercanos a poblados.

En cuanto a energía nuclear es consenso que esta fuente es la de la que menos daños causa al medio ambiente. No obstante su mayor riesgo radica en la disposición de los desechos radiactivos.

### Situación de la Energía en México.

El sector energético de México integrado esencialmente por hidrocarburos y en menor medida por electricidad, ha sido un eje fundamental en las transformaciones experimentadas por el país en su historia reciente.

Como ejemplo de ello puede mencionarse que en 1992 las reservas de petróleo ocupaban el octavo lugar mundial y el sexto en producción, en tanto que sus reservas de gas se ubicaba en treceavo lugar y octavo en producción. En electricidad la capacidad instalada en México esta entre las primeras veinte del mundo.

Durante muchos años las dos empresas energéticas mas grandes del país, Petróleos Mexicanos (Pemex) y Comisión Federal de Electricidad (CFE), han generado conjuntamente más del 90 por ciento de la energía comercial primaria y secundaria. En 1992 la proporción fue de 94.3 por ciento, 90.0 por ciento fue de hidrocarburos y 4.3 por ciento de electricidad. En 1985 el volumen de refinación por el método de destilación atmosférica (que es el mas usado en el país) fue de un millón 349 de barriles diarios cantidad que ascendió a un millón 524 en 1991.

De las actividades de refinación se obtienen gasolinas utilizadas para el transporte de vehículos. En 1987 y 1993 las ventas de gasolinas se incrementaron en 35.6 por ciento al pasar de 534.6 a 725.1 miles de barriles diarios hecho que denotaría el aumento del parque vehicular sobre todo en la Ciudad de México.

También es importante señalar que a partir de 1992 hay un giro en las tendencias de ventas de gasolinas con plomo (Nova) y en cambio se incrementan las de poco contenido de plomo (Magna Sin), hecho que también es indicativo de las medidas contra la contaminación.

En distintos puntos del territorio mexicano, están localizadas las plantas de refinación y de procesamiento de petroquímicos, que a su vez surten de combustibles a los centros de población y de actividades productivas. Destacan las redes subterráneas de distribución de los productos derivados del petróleo y del gas para fines industriales y domésticos.

En México se fabrican aproximadamente cuatrocientos productos petroquímicos, los cuales representan 2.5 por ciento del ingreso interno bruto y engloban mas del 50 por ciento de la producción nacional.

## 1. Descripción del Proyecto

### 1.1 Generalidades del proyecto

#### 1.1.1 Función del proyecto

De acuerdo a los trabajos resultantes de las recomendaciones de auditorías ambientales, la reconversión de la planta de tratamiento de efluentes existente tiene como función eliminar o reducir los contaminantes que contienen los desechos líquidos (drenajes químicos y aceitosos) que provienen de las plantas que integran el Complejo Petroquímico Cangrejera, con el propósito de cumplir con los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales al cuerpo receptor, establecidos en la norma NOM-CCA-003-ECOL/1993 y con las condiciones particulares de descarga fijadas por la SEDUE en 1984.

#### 1.1.2 Tipo de proceso

El sistema de tratamiento de efluentes ya acondicionado consistirá en un proceso dual, basado en un tratamiento primario de tipo fisicoquímico (separación de aceite y sólidos, neutralización de pH y homogeneización) y otro secundario tipo biológico de lodos activados en su modalidad de aereación extendida (degradación de materia orgánica), empleando como directriz principal el transporte por gravedad. A su vez se contará con un tratamiento para el acondicionamiento de lodos biológicos de desecho, previo a su disposición final.

#### 1.1.3 Antecedentes

La Planta de Tratamiento de Efluentes del Complejo Petroquímico Cangrejera fue diseñada en el periodo 1979-80, con base en experimentación a nivel laboratorio. Esta planta actualmente opera y cumple con la eficiencia estimada en este periodo.

En la década de los 80's con la creación de la SEDUE y más tarde con la promulgación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, las acciones tendientes a controlar la contaminación y proteger los recursos naturales se hicieron más estrictas, por lo que actualmente en México existen

requerimientos normativos vigentes aplicables y conjuntados en normas oficiales mexicanas y en donde de acuerdo a la norma NOM-CCA-003-ECOL/1993, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de la Refinación de Petróleo y Petroquímica, la Planta de Tratamiento de Efluentes del Complejo Petroquímico Cangrejera quedó rezagada tecnológicamente, y bajo determinadas condiciones operativas no alcanza los niveles de depuración necesarios para que la descarga general de aguas residuales que cumplan constantemente con los valores máximos permisibles de la NOM citada, particularmente en los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> a 20°C, sulfuros suspendidos totales. Las condiciones operativas que afectan negativamente la función anticontaminante de la Planta de Tratamiento de Efluentes, se deben tanto a factores internos como externos, tales como:

- a) Condiciones de azolvamiento (exceso de lodos) en las fosas AD-004 A/B y en la laguna AD-007.
- b) Nulas instalaciones para otorgar libranza ecológica en la fase de Tratamiento Secundario.
- c) El sistema de Tratamiento Secundario, particularmente la fase de biooxidación en la laguna aerada AD-006, esta expuesta a descontroles severos por la variabilidad en la carga orgánica en términos de DQO.

## 1.2 Alcance del proyecto

El objetivo del proyecto es modernizar la actual planta de Tratamiento de Efluentes con el siguiente alcance:

Las principales acciones que se tomaran para llevar a cabo la reconversión del sistema de tratamiento existente son:

- 1.2.1 Elevar la eficiencia de tratabilidad de aguas residuales disminuyendo los parámetros de sólidos suspendidos totales, DQO, DBO<sub>5</sub> y sulfuros por debajo de los niveles máximos permisibles marcados en la norma NOM-CCA-003-ECOL/93, y en las condiciones particulares de descarga establecidas por SEDUE en 1984.

1.2.2 Dotar de autonomía a la planta para resolver la acumulación de lodos en las instalaciones.

1.2.3 Disminución del índice de riesgo en materia de impacto ambiental.

1.2.4 Hacer más eficiente el manejo y descargas de aguas servidas del complejo, segregando la corriente general de agua residual tratada, para su descarga por conducto independiente del drenaje pluvial general del complejo.

1.2.5 De acuerdo al alcance del proyecto, éste se dividió en dos etapas las cuales son:

Etapas:  
Etapa uno: (Reconversión a un sistema de lodos activados).

El proyecto en todos sus alcances deberá tomar en cuenta que la tecnología actual en tratamiento de efluentes, considera la problemática de las filtraciones líquidas al subsuelo, por lo tanto, las nuevas instalaciones o reacondicionamiento de las existentes del Complejo Petroquímico Cangrejera, deberá tomar en cuenta el siguiente criterio:

- Las instalaciones continuarán siendo subterráneas, por lo que se requiere que las fosas y lagunas existentes y de proyecto se acondicionen con recubrimiento interior para evitar cualquier problema de infiltraciones o fugas al subsuelo.

a) Diseño y construcción de una Fosa de "Emergencias" AD-004 C cuya función sea amortiguar las corrientes efluentes "pico", y con dimensiones similares a una de las fosas actuales de igualación AD-004 A/B, las cuales deberán quedar integradas hidráulicamente.

b) Reconversión del tratamiento secundario biológico a un sistema de lodos activados. Construir dos tanques sedimentadores SE-101A/B.

c) Reconversión de la AD-006 A, a un sistema de lodos activados.

Incluir la integración de una recirculación y su bomba para mantener el sistema completamente mezclado, así como un cárcamo de bombeo. La bomba será centrifugada especial de impulsor abierto para manejo de lodos biológicos.

d) Reconversión de la AD-006 B, a un sistema de lodos activados.

Incluir la integración de una recirculación y su bomba para mantener el sistema completamente mezclado, así como un cárcamo de bombeo. La bomba será centrífuga especial de impulsor abierto para manejo de lodos biológicos.

e) Construcción e instalación de un "PAQUETE" o Unidad Integrada al tratamiento del lodo biológico residual, compuesto por las siguientes etapas:

1). Espesador de Lodos

2). Digestor Aeróbico

3). Filtro Prensa

4). Dispositivo de almacén, dosificación y mezcla de cal (antes del filtro).

Esta Unidad Integrada, entregaría un lodo concentrado y estabilizado a niveles aceptables para su disposición final.

Etapa dos: (Optimización del tratamiento primario)

a) Optimizar la unidad de oxidación de sulfuros, para que la torre de oxidación DA-001 opere sin taponamientos, en base a una evaluación que determine el origen del problema, tomando en cuenta los análisis del laboratorio del centro de trabajo.

b) Reconversión de las fosas de igualación AD-004 A/B con el objeto de evitar el azolve de lodos y obtener una óptima homogeneización de efluentes a través de turbulencia, empleando para ello aereadores de alta velocidad.

c) Instalar un separador de aceite tipo "flotación por aire inducido" (IAF) a la salida de cada fosa AD-004 A/B, los cuales se suministran en "PAQUETE", autocontenido de fábrica como un contenedor. Este separador tendrá como función eliminar las grasas, aceites, y sólidos suspendidos del efluente de las fosas AD-004 A, B.

Se considera necesario incluir un "PAQUETE" o unidad de tratamiento de lodos químicos aceitosos, que se generan en estas unidades y que se consideran residuos peligrosos, por su alto contenido de benceno y tolueno.

- d) Modernizar los actuales separadores de aceite tipo placas corrugadas, por los siguientes dispositivos:
- 1). Cambiar los actuales cajones, por cajones de placas coalescentes.
  - 2). Implementarles un sistema de cubiertas sobre el espejo del nivel hidráulico de operación de los separadores de aceite.
  - 3). Implementar una línea de desvío del registro de entrada FE-004 hacia el separador de aceite AD-002, con objeto de aprovecharlo con una parte de la corriente del drenaje aceitoso, ya que este separador quedará disponible.

Reconvertir todos los actuales registros y cárcamos de aceite recuperado ubicados en la planta, para eliminar el actual contacto que tienen con el subsuelo, instalando tanques de acero dentro de los mismos cárcamos actuales y reconstruyendo estructuras de concreto en algunos casos, para ampliarlas y/o acondicionarlas al nuevo concepto de contención de aceite.

- e) Construir una línea de tubería de polietileno de alta densidad y tanque receptor, con el objeto de aprovechar como coagulante la corriente residual de tricloruro de aluminio, para su uso y dosificación a los reactores AD-006 A/B y fosas AD-004 A,B. El circuito debe considerar el envío desde la Unidad Purificadora de  $AlCl_3$  y su desvío correspondiente para recibirla directo de la planta de Estireno, hasta la laguna AD-006 A/B y fosas AD-004 A/B
- f) Construir una fosa de ajuste de pH antes del tratamiento secundario, para mantener un rango o variabilidad de pH entre 7 y 8, mediante la dosificación de un agente ácido o alcalino.

## 1.2.6 Datos generales

### 1. Localización

- a) Estado: Veracruz
- b) Municipio: Coatzacoalcos
- c) Distancia a la población más cercana: 7 Km.
- d) Centro de Trabajo: Complejo Petroquímico "Cangrejera"
- e) Elevación sobre el nivel del mar: 7.54 m.

## 2. Datos climatológicos

### a) Temperatura:

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| Extrema máxima/mínima:       | 42°C / 10°C |
| Promedio máxima/mínima:      | 32°C / 21°C |
| Promedio anual (bulbo seco): | 25.9°C      |
| Promedio bulbo húmedo:       | 23.5°C      |

### b) Precipitación Pluvial:

|                   |                               |
|-------------------|-------------------------------|
| Horaria máxima:   | 95 mm. H <sub>2</sub> O/hr    |
| Máxima en 24 Hrs. | 360 mm. H <sub>2</sub> O/día  |
| Medía anual:      | 3100 mm. H <sub>2</sub> O/año |

### c) Humedad Relativa:

|           |     |
|-----------|-----|
| Máxima:   | 95% |
| Mínima:   | 50% |
| Promedio: | 78% |

### d) Temporada de Lluvia: Promedio

|            |    |
|------------|----|
| Invierno:  | 2  |
| Primavera: | 5  |
| Verano:    | 16 |
| Otoño:     | 14 |

### e) Vientos:

|                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Dirección vientos dominantes: | NNO a SSE                         |
| Dirección vientos reinantes:  | NNE a SSO                         |
| Velocidad media:              | 20 - 30 Km/hr                     |
| Velocidad máxima:             | 220 Km/hr                         |
| Velocidad diseño:             | 240 Km/hr (incluye factor ráfaga) |

### f) Atmósfera:

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| Presión barométrica:             | 760 mmHg |
| Atmósfera corrosiva:             | SI       |
| Atmósfera salina (Brisa marina): | SI       |



Contaminantes: Sox, NH<sub>3</sub>, NaCl  
(provenientes del área: Fertimex, Iquisa, etc.)

g) Elevación:

ASNIM: 7.54 m

h) Sismo

Zonificación: U.B.C. Zona III

#### 1.2.7 Capacidad, factor de servicio y flexibilidad:

##### 1) Capacidad

La planta esta diseñada para tratar un flujo máximo de 120 l/seg de aguas residuales del complejo.

##### 2) Factor de servicio

El factor de servicio es de 1.0, ya que el sistema opera durante todo el año.

##### 3) Flexibilidad

La planta deberá seguir operando en cualquiera de las siguientes condiciones anormales:

- Falla de vapor
- Falla de aire de instrumentos

##### 4) Previsión de ampliaciones futuras

En el diseño no se contemplan aumentos de capacidad para futuras ampliaciones.

## 5) Normas para la eliminación de desechos

En el diseño de la planta, se aplicarán las siguientes normas para el control de contaminantes:

- a) Norma CCA-003-ECOL/1993 que marca los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpo receptor, para la industria de refinación del petróleo y petroquímica.
- b) Condiciones particulares de descarga fijadas por la SEDUE en 1984 al Complejo Petroquímico "Cangrejera".
- c) Límites máximos permisibles especificados en la norma NOM-CRP-052-ECOL/93 para residuos sólidos.

### 1.2.8 Corrientes de desecho a tratar:

Las corrientes de efluentes a tratar serán las siguientes:

|  | m <sup>3</sup> /día (prom.)                   |
|--|---|
| 1.0 Aguas ácidas de planta de Acetaldehído                               | 3212.35                                       |
| 2.0 Efluente aceitoso de áreas de proceso y tanques                      | 4958.49                                       |
| 3.0 Purga de desaladoras (salmuera)                                      | 602.98  |
| 4.0 Con Condensados contaminados de las plantas<br>de Etileno y Estireno | 970.56  |
| 5.0 Drenaje glicolado  | 350.02  |
| TOTAL  | 10,094.40 m <sup>3</sup> /día<br>(2.667 MMGD) |

## 2. Análisis de Riesgo en el Impacto Ambiental

### 2.1 Introducción

#### 2.1.1 Antecedentes generales

Los riesgos forman parte de nuestra vida diaria. Así como la sociedad se ha industrializado y es influenciada por el origen de la industria, el origen de los riesgos que causan daño a la población ha cambiado. En las últimas décadas, la seguridad del medio ambiente y de la industria ha crecido rápidamente. El peligro del medio ambiente y de la gente que tomen parte en las operaciones industriales, especialmente en el refinamiento de petróleo y operaciones químicas, nos ha llevado a más análisis y al desarrollo de métodos de análisis para la mejor identificación, evaluación y control de peligro de incendio, explosiones y la exposición de sustancias tóxicas. El gobierno se ha involucrado con más normas y legislaciones específicas en la administración de riesgo químico. La historia de las industrias de refinamiento químico y petrolero contiene ejemplos de accidentes que afectan no solo a los trabajadores, si no también a la comunidad que los rodea. Cuando esta comunidad es afectada, el accidente llega a ser una catástrofe y es un evento importante que concierne a altos niveles de gobierno, además de quien administre la instalación a la compañía, así como a las agencias reguladoras.

La preocupación sobre las consecuencias desastrosas de las liberaciones accidentales de químicos tóxicos, aumento considerablemente después de la liberación de Bhopal, India de metil isocianato del 3 de diciembre de 1984, la cual mato aproximadamente a 2000 personas y afecto a muchas mas. La preocupación por la seguridad de las instalaciones de proceso que manejan materiales peligrosos, aumento después del accidente de la planta nuclear de Chernobil en la Unión Soviética en abril de 1986. Otros accidentes han ocurrido desde entonces, incluyendo las principales explosiones en la Ciudad de México, Guadalajara y Texas. Mientras que los encabezados de estos incidentes han creado y sostenido una exagerada consciencia en los últimos años, accidentes previos contribuyeron al desarrollo en el campo de la perdida de prevención como una área reconocida y especializada dentro de los dominios generales de la ingeniería.

En este capítulo trataremos de forma general varios aspectos de riesgo relacionados con sustancias químicas peligrosas; métodos de identificación y evaluación de riesgo; análisis de consecuencias; y con medidas de prevención, protección y mitigación que constituyen parte del proceso de administración de riesgo. Prevención se refiere a las medidas de diseño y operabilidad aplicadas a las instalaciones de proceso para asegurar que los contenedores de productos químicos primarios no sean abiertos. Protección se enfoca en la captura o destrucción de químicos peligrosos envueltos en un incipiente liberado después de que el contenedor de productos químicos primarios hayan sido abiertos, pero antes una liberación incontrolada del químico hacia el medio ambiente ha ocurrido. Mitigación se refiere a la medida que busca reducir las consecuencias y el daño después de que una liberación química ha ocurrido.

Cuatro tipos de liberaciones se encuentran en instalaciones que usan manufactura o almacenamiento de químicos peligrosos;

- Liberaciones en proceso de vaciados de materiales
- Proceso de venteo
- Emisiones fugitivas o fugas limitadas en equipos
- Liberaciones grandes, repentinas o accidentales.

Los primeros tres tipos son fuentes de riesgo ambiental y generalmente no son considerados parte de un proceso de seguridad que concierne del punto de vista de la población, pero la exposición del trabajador a las emisiones fugitivas de materiales insalubres, concierne a la salud y la seguridad del trabajador. Liberaciones accidentales, grandes y repentinas son un proceso de seguridad y concierne al riesgo ambiental. El objetivo principal de control de las liberaciones químicas es reducir el riesgo a la salud humana y al medio ambiente. La meta del manejo de riesgo es reducir y prevenir los riesgos a un nivel aceptable para que no sea una amenaza para la población. El lugar de varios controles para lograr este objetivo se muestra en la figura 2-1. Cada categoría de control contribuye a la reducción de las consecuencias de una liberación accidental. Un programa completo de control de riesgo contendrá algunos métodos de control de cada una de las categorías enlistadas en dicha figura.

El manejo de proceso de riesgo envuelve a la integración de ciertos pasos, pero comienza básicamente con la identificación y la evaluación específica de riesgos y sus consecuencias. Una vez hecho esto, las prioridades y las medidas de control apropiadas pueden ser establecidas para manejar los riesgos. Toda la administración de proceso de riesgo esta ilustrado en la figura 2-2.

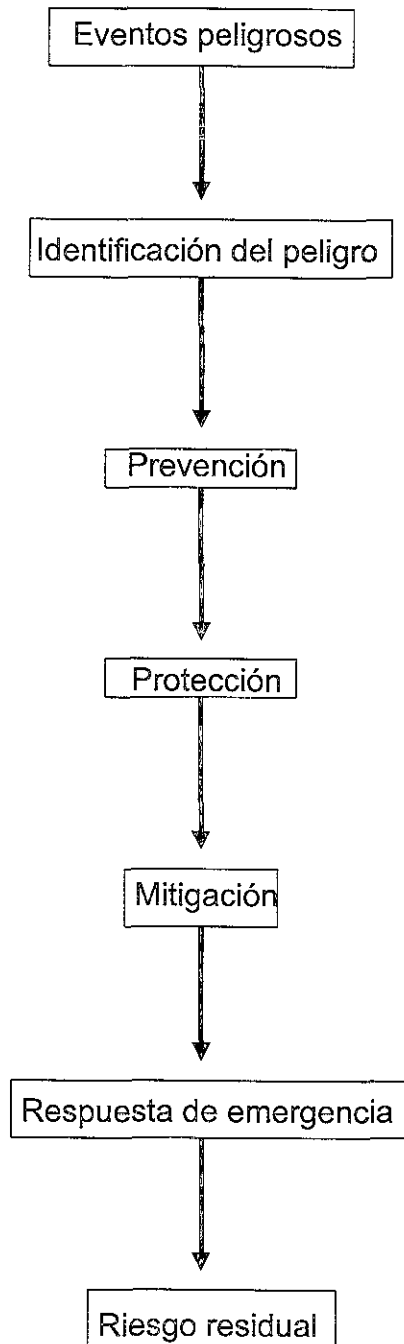


Figura 2-1 Niveles conceptuales de control de riesgo

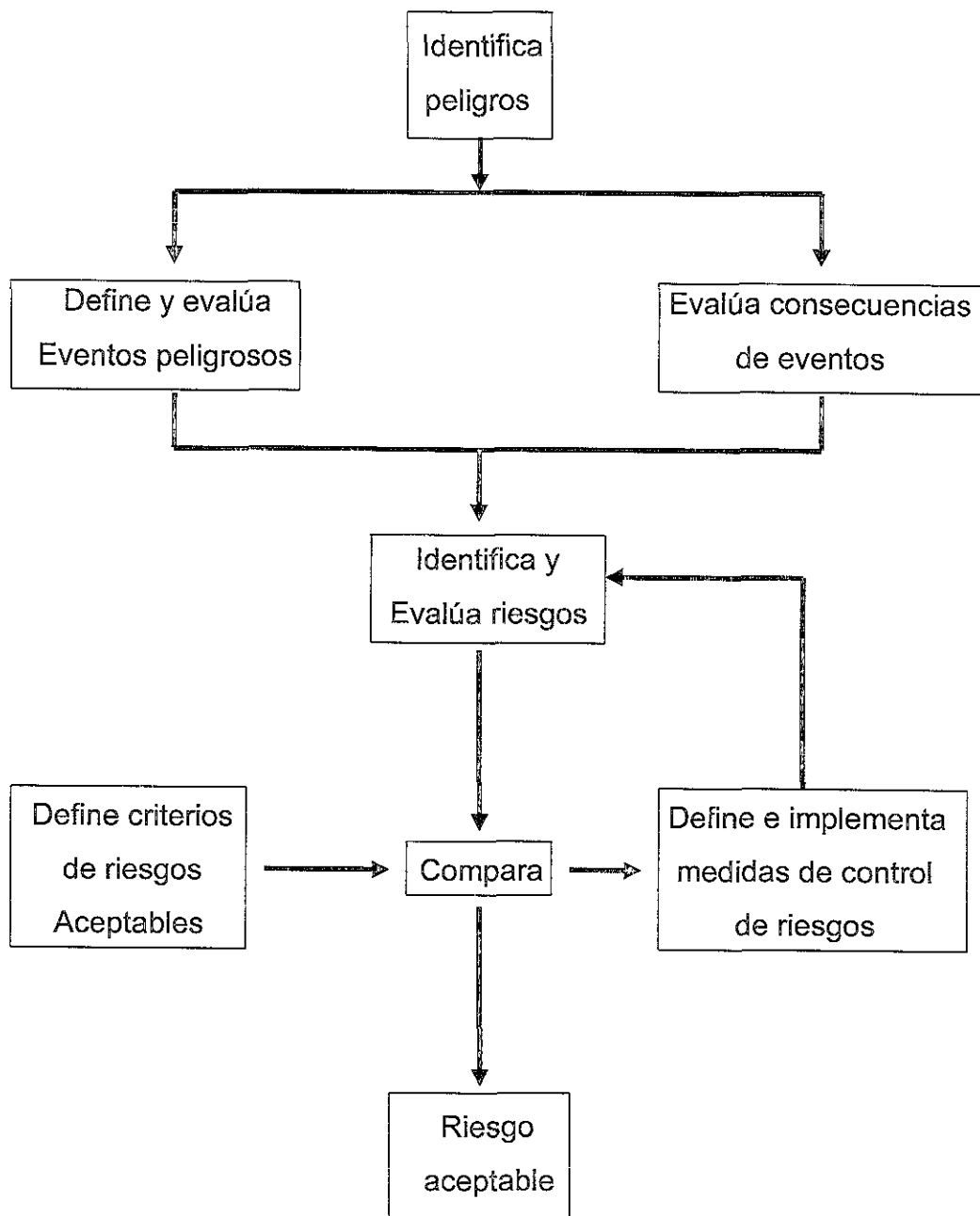


Figura 2-2 Proceso general sobre la administración de riesgos

## 2.1.2 Marco jurídico

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su artículo 5o, Fracción X contempla que son asunto de alcance general en la Nación o de interés de la Federación, la regulación de actividades que deben considerarse altamente peligrosas, según esa y otras leyes y sus disposiciones reglamentarias por la magnitud o gravedad de los efectos que pueda generar en el equilibrio ecológico o el ambiente. De acuerdo a las disposiciones de la Ley antes citada, en su artículo 28 indica: La realización de obras o actividades publicas o privadas que pueden ocasionar desequilibrios ecológicos o rebasar los limites y condiciones señalados en los reglamentos y las Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la Federación para proteger el ambiente, deben sujetarse a la autorización previa del Gobierno Federal, pro conducto de la Secretaria o las competencias que señala esta Ley, así como al cumplimiento de los requisitos que se les impongan una vez realizado el impacto ambiental que pudieren originar, sin perjuicio de otras autorizaciones que corresponda otorgar a las autoridades competentes.

Cuando se trate de la evaluación del impacto ambiental por la realización de obras o actividades que tengan por objeto el aprovechamiento de recursos naturales, la Secretaría requerirá a los interesados que en la Manifestación de Impacto Ambiental correspondiente, se incluya la descripción de los posibles efectos de dichas obras o actividades en el ecosistema de que se trate, considerando el conjunto de elementos que lo conforman y no únicamente los recursos que serian sujetos de aprovechamiento. Como complemento a lo anterior en el artículo 32 se indica: Para la obtención de la autorización a que se refiere el artículo 28 del presente ordenamiento, los interesados deberán presentar ante la autoridad correspondiente, una Manifestación de Impacto Ambiental en su caso dicha manifestación deberá ir acompañada de un estudio de riesgo de la obra, de sus modificaciones o de las actividades previstas, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para mitigar los efectos adversos al equilibrio ecológico durante su ejecución, operación y en caso de accidente.

La secretaria establecerá el registro al que se inscribirán los prestadores de servicios que realicen estudios de Impacto Ambiental y determinara los requisitos y

procedimientos de carácter técnico que dichos prestadores de servicios deberán satisfacer para su inscripción.

Con base a lo antes indicado, el Instituto Nacional de Ecología cuenta con un procedimiento para la evaluación de Manifestaciones de Impacto Ambiental y Riesgo, mediante el cual se regulan las actividades altamente riesgosas.

El marco jurídico administrativo que faculta a la Secretaria de Gobernación en Materia de Protección Civil incluye a los siguientes documentos:

- Ley General de Población, artículo 3o, Fracción XIII, Diario Oficial del 31 de Diciembre de 1974.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Artículo 1,2 y 18, Fracción I - XI, Diario Oficial del 13 de Febrero de 1989.
- Decreto por el que se aprueban las Bases para el Establecimiento del Sistema Nacional de Protección Civil y del Programa de Protección Civil que las mismas contienen, Artículo 3,5,6 y 8, Diario Oficial del 6 de Mayo de 1986.
- Decreto por el que se crea el Consejo Nacional de Protección Civil como Órgano Consultivo de Coordinación de Acciones y de Participación Social en la Planeación de Protección Civil, Diario Oficial del 11 de Mayo de 1990.
- Programa Nacional de Protección Civil 1990 - 1994, Diario Oficial del 29 de mayo de 1991.

Asimismo, existe un amplio numero de Normas e instructivos relacionados con seguridad e higiene, publicados por la Secretaria del Trabajo y Previsión Social y la Secretaria de Salud.



### 2.1.3 Niveles de Atención

En lo que corresponde a los accidentes industriales con serias afectaciones ambientales, es importante recordar que los tres tipos fundamentales de accidentes a considerar: explosión, incendio y fuga o derrame de un producto de alta peligrosidad, depende asimismo, de tres variables básicas: presión, temperatura y concentración de los diversos materiales presentes, así como de las condiciones de los recipientes, construcción y diseño de equipos; las características de la transportación de estos y los accidentes, se pueden presentar por diversas causas, tanto naturales como antropogénicos, accidentales o premeditados. Las medidas de prevención y mitigación de riesgos a aplicarse en las diversas instalaciones industriales, se pueden clasificar en medidas propiamente preventivas, cuando su finalidad es reducir los niveles originados de riesgo a valores socialmente aceptables; medidas de control, cuando el objetivo es reducir los efectos en el ambiente de situaciones accidentales o cuasiaccidentales, cuando se lleguen a presentar; y medidas de atención, cuando su objetivo es el reducir los daños a la población y al equilibrio ecológico cuando el accidente ha tenido lugar. En este sentido, es importante el acotar el riesgo total representado por una instalación industrial, se conjugan dos aspectos:

- A) El riesgo intrínseco del proceso industrial, que depende de la naturaleza de los materiales involucrados, en las modalidades energéticas utilizadas y la vulnerabilidad de los diversos equipos que integran el proceso, así como su distribución y transporte.
- B) Riesgo de la instalación, potencializado por las características del sitio de su ubicación a partir de los factores ambientales, mismos que pueden incrementar su nivel de riesgo al presentarse eventos naturales que inciden en el accidente o la propia magnitud de sus efectos (población aledaña, ecosistemas frágiles, etc.) del carácter dual del riesgo de un accidente, se crea la necesidad de adoptar medidas preventivas para ambos aspectos, a fin de poder reducir el nivel de riesgo a un valor aceptable o de ser posible evitarlo por completo.

Al hablar de riesgo, es necesario establecer para efectos de la prevención de los accidentes con repercusiones ambientales, el concepto de riesgo involucra dos factores:

- 1) La magnitud de los efectos del evento, cuantificados en una escala adecuada
- 2) La probabilidad de que se presente el evento correspondiente.

Por otra parte, es necesario definir un nivel de riesgo aceptable, que pueda ser utilizado para la evaluación de proyectos industriales, el establecimiento de este nivel aceptable depende del considerar factores como:

- Problemas del sitio de ubicación de la planta
- Escaso espaciamiento interno y arreglo general inadecuado
- Estructura fuera de especificaciones
- Evaluación inadecuada de materiales
- Problemas del proceso químico
- Fallas de equipo
- Falta de programa eficiente de seguridad tanto interno como externo.

Con base a lo anterior, es necesario desarrollar y establecer diversas técnicas de análisis de riesgo ambiental, así como el establecimiento y políticas del uso suelo que eviten la coexistencia de zonas urbanas o ecológicamente sensibles y áreas industriales de alto riesgo para efectos de prevenir daños de consideración en el caso de presentarse emergencias ambientales. La necesidad de evaluar el riesgo ambiental surge de la importancia de preservar el o los ecosistemas o a la población, a sus bienes circundantes a los sitios en donde se efectúan actividades riesgosas. El uso de metodologías para el análisis de riesgo ambiental están en practica en diversos países, en México, el ejemplo mas notable es la aplicación del procedimiento de Riesgo Ambiental a actividades con un elevado potencial de riesgo, instrumento mediante el cual se evalúan los proyectos de obra que representan un significativo potencial de afectación a su entorno dadas las características inherentes a sus procesos y sustancias peligrosas que se manejan, donde destacan los proyectos de la Industria Química y Petroquímica.

Como resultado del procedimiento establecido para la Manifestación de Impacto Ambiental, se determina la aplicación del procedimiento de Análisis de Riesgo Ambiental en el que de acuerdo a las etapas o fases del mismo, se establece el nivel de información que debe presentar el proponente del proyecto sujeto a su evaluación.

El procedimiento consta de tres niveles:

- 1) Informe Preliminar de Riesgo, el cual tiene como objetivo el contar con la información suficiente para identificar y evaluar las actividades riesgosas en cada una de las fases que comprende el proyecto que dadas sus características se pueden catalogar como de bajo riesgo y con esto para poder incorporar las medidas de seguridad tendientes a evitar o minimizar los efectos potenciales a su entorno en caso de accidente.
- 2) Análisis de Riesgo viene a representar el nivel donde se requiere de una información mas precisa y extensa para el análisis y evaluación de proyectos que se pueden identificar como riesgo moderado.
- 3) Análisis Detallado de Riesgo, el nivel en el cual se requiere de toda la información detallada con el apoyo de metodologías sofisticadas de Análisis de Riesgo Ambiental para evaluar las posibles repercusiones que tendría una instalación de alto riesgo sobre su entorno.

## 2.2 Criterios básicos para la evaluación de riesgos

En los estudios de Análisis de Riesgo que requieren elaborar las industrias, para mejorar sus niveles de seguridad y operación, es conveniente que dos aspectos básicos a considerar son los siguientes:

- A) La detección de los puntos críticos, en los cuales se pueden presentar fallas, cuya ocurrencia pueda impactar negativamente a las instalaciones y el entorno de la actividad industrial que se este analizando. En este sentido se utilizan procedimientos de análisis tales como:

- Listas de comprobaciones, que se utilizan en instalaciones pequeñas de bajo riesgo y de tecnología muy conocida.
- Estudios de riesgo de operabilidad, utilizados para instalaciones complejas, de alto riesgo y tecnologías innovadoras.

Este procedimiento consiste en analizar las desviaciones de las variables operacionales de cada sistema de interés en las instalaciones de una actividad industrial en donde se utilizan sustancias peligrosas (explosivas, inflamables, tóxicas, corrosivas, reactivas, cancerígenas y radiactivas) las posibles causas de estas variaciones, sus consecuencias y las acciones requeridas para eliminar o reducir los efectos negativos detectados. Se utilizan palabras guías o claves para indicar condiciones del proceso, actividades, sustancias, tiempo y lugar. En este aspecto para el caso de tiempo, los aspectos de interés son la duración de frecuencia, tiempo absoluto y la secuencia de los eventos, para ello se emplean palabras como: mas o menos, mas pronto, mas tarde, etc.

B) En base a los riesgos detectados utilizando procedimientos, tales como los antes indicados, es conveniente evaluar el nivel de riesgo detectado a fin de poder integrar las opciones para reducción mediante un análisis costo - beneficio, que permita el desarrollo industrial sin descuidar la protección a la población.

Entre los procedimientos para la Evaluación de Riesgo, se tienen los siguientes:

En forma suscita podemos mencionar el denominado Análisis de Riesgo (HAZAN en su acrónimo en ingles), en el cual se consideraron a los accidentes como resultado de un encadenamiento de eventos simples para los cuales se puede evaluar el nivel de probabilidad de ocurrencia. El encadenamiento de los distintos eventos simples sigue en su comportamiento matemático las leyes del álgebra de Boole, obteniendo el nivel de probabilidad mediante simples operaciones matemáticas entre los niveles de probabilidad de los eventos simples. Es importante mencionar que una vez determinado el nivel de riesgo, este se puede modificar estableciendo medidas de seguridad mas estrictas, por lo que es necesario establecer un valor probabilístico para el accidente que se esta evaluando lo que se puede hacer mediante el análisis de costo que la implementacion de las medidas

implica en relación a lo que se previene. Una parte importante entre los criterios a observar en la evaluación de riesgos, es el establecimiento de parámetros de medición mediante los cuales se fijan valores tope que permitan salvaguardar la salud de quienes se encuentran en los alrededores de instalaciones de alto riesgo, así mismo proteger sus bienes.

En este sentido se ha considerado como un parámetro de protección de la salud en cuanto a afectación por toxicidad, el IDLH (Peligro Inmediato a la Salud o a la Vida), que se define como el valor máximo en PPM o  $Mg/m^3$  en concentración de un contaminante tóxico al cual una persona puede escapar sin daños irreversibles a su salud en un periodo hasta 30 minutos de exposición. Este valor se utiliza para definir la zona de alto riesgo, la cual se hace mediante la utilización de modelos de dispersión que permitan determinar que distancia se presenta en los casos de tenerse accidentes en actividades industriales con fugas o derrames o en su caso emisiones en forma de nube.

El TVLS (Valor Limite Umbral), es el valor promedio de concentración máxima permisible para exposición en PPM o en  $Mg/m^3$  de un contaminante tóxico que se considera que no tiene ningún efecto en una persona expuesta al mismo en una exposición de 15 minutos. Este valor se utiliza para definir la zona de amortiguamiento siguiendo un procedimiento similar al que se realiza para determinar una zona de alto riesgo. En lo relativo a afectación por riesgo en los casos de actividades en las cuales se utilizan sustancias con características explosivas para la determinación de la zona de alto riesgo, establece como parámetro de afectación, el área de un círculo con un radio que considera la distancia desde donde se encuentra el punto desde el cual se puede formar la nube explosiva y el extremo del radio se considera la distancia a la cual se tiene una onda de sobrepresión de  $\frac{1}{2}$  Lb/pulg<sup>2</sup>.

### 2.3 Sistema de Información de Rápida de Impacto Ambiental (SIRIA )

Este sistema surge de la necesidad de contar con herramientas de apoyo para la evaluación de los Impactos Ambientales producidos por los proyectos de desarrollo en el país, la Dirección General de Normatividad Ambiental del Instituto Nacional de Ecología, utiliza actualmente este sistema cuya estructura es:

- Modulo de evaluación de afectaciones ambientales
  - Banco de datos
  - Banco de textos
  - Modelos de dispersión de contaminantes
  - Modelos de simulación de escenarios
  
- Modulo de interfase
  - Subsistema de manejo interactivo
  - Subsistema de impresión de reportes
  
- Modulo de registro de proyectos
  - Información general
  - Dictámenes
  
- Modulo de apoyo decisonal
  - Procedimiento de evaluación de alternativas
  
- Modulo de evaluación de registros ambientales
  - Banco de datos
  - Banco de textos
  - Modelos de dispersión en aire
  - Modelos de nubes explosivas

Si profundizamos en los modelos de evaluación de Riesgos Ambientales:

#### 1. Modelos de dispersión en aire

En los primeros se consideran dos modelos Gaussianos:

Modelos de dispersión de fugas y derrames

El modelo se aplica para efectuar estimaciones de concentraciones de sustancias peligrosas, a nivel piso, provenientes de una fuga gaseosa o de un derrame de un liquido que se evapora. Los resultados a la salida del modelo son: la distancia de la pluma para alcanzar una concentración dada y el área de exclusión o área de

riesgo dentro de la cual se pueden tomar acciones preventivas de evacuación de la población en caso de accidente.

#### Modelo de dispersión de un PUFF

El modelo considero la dispersión de un PUFF tridimensional o burbuja, formado por la masa de una sustancia que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como una nube de gas provocada por una explosión o ruptura de una esfera de almacenamiento. El modelo da como salidas la distancia recorrida por el PUFF, el tiempo de recorrido y la concentración en el centro del mismo nivel a piso.

## 2. Modelo de nubes explosivas

El modelo considera como posibles formadores de nubes explosivas:

- Gases en estado liquido por enfriamiento
- Gases en estado liquido por efecto de una presión
- Gases sujetos a presiones de 500 Psi o mayores
- Líquidos inflamables o combustibles a una temperatura mayor a su punto de ebullición y mantenidos en estado liquido por efecto de presión (excepto materiales con una viscosidad mayor a  $1 \times 10^6$  puntos de fusión sobre  $212^{\circ}\text{F}$ )

y el modelo lleva implícitas las siguientes suposiciones:

- a. La fuga es instantánea y no se considera en caso de un escape de gas paulatino, excepto para fugas en tuberías de gran capacidad con material transportado desde instalaciones alejadas.
- b. El material fugado se vaporiza instantáneamente y la nube se forma instantáneamente, de acuerdo a las condiciones termodinámicas del gas o el liquido inflamable antes de la fuga.
- c. La nube adquiere una forma cilíndrica cuya altura es su eje vertical. No se consideran distorsiones ocasionadas por viento o por estructuras y edificios presentes.

- d. La nube tiene una composición uniforme y su concentración en el aire esta en el punto medio entre los limites inferior y superior de explosividad del material.
- e. Se tomara el calor de combustión de la TNT (200 BTU/Lb) para convertir el calor de combustión del material a un equivalente en peso de TNT.
- f. La temperatura ambiente es constante: 70°F (21.1°C)

A las modelaciones efectuadas con este sistema (SIRIA) permiten simular escenarios de acuerdo con los datos que se reportan en esta dirección, permitiendo ser el comportamiento de las o la sustancia que se maneje; dándonos una visión amplia de cuales serian sus consecuencias y afectaciones como son requerimientos de bardas perimetrales, sistemas de seguridad mas efectivos, fosas de contención, etc. según el caso si lo amerite.

#### 2.4 Regulación de actividades altamente peligrosas

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, establece como asunto de alcance general de la Nación o de interés de la Federación, la regulación de actividades que deban considerarse como altamente riesgosas, debido a la gran cantidad de sustancias químicas existentes en la actualidad, con propiedades intrínsecas de toxicidad, inflamabilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, radiactividad y de acción biológica, las cuales se almacenan, transportan o procesan, en las actividades comerciales, industriales y de servicios, ya sea como materias primas, productos, subproductos o residuos. Sabemos que puede presentarse un evento indeseado, por circunstancias naturales o inherentes al hombre o tipo de operaciones que se lleven a cabo, aun cuando se posean los equipos y dispositivos de prevención, así como de control de accidentes, y de liberarse al ambiente determinados volúmenes de estas sustancias químicas, poniendo en peligro la salud y el bienestar de la población cercana, flora y fauna.

Los impactos negativos producidos por un accidente mayor pueden ser a largo plazo o corto plazo, reversibles o irreversibles, en diferentes escalas, por tanto, una finalidad básica de la identificación de las actividades altamente riesgosas, es



proteger a las comunidades de liberaciones de sustancias peligrosas preparándose de tal manera, que sea posible responder rápida y eficazmente a los planes de contingencia en caso de accidente. En virtud de lo anterior, se hace necesario evaluar dichos riesgos, con el fin de determinar las sustancias mínimas (áreas de riesgo) a que deberán instalarse las actividades altamente riesgosas con respecto a cualquier asentamiento humano; de donde, además, se hará posible integrar el ordenamiento ecológico en su entorno (modificando las condiciones existentes y planeando las futuras), garantizando la seguridad de la zona de influencia.

## 2.5 Criterios y procedimientos

La Dirección General de Normatividad Ambiental del Instituto Nacional de Ecología pretende identificar todas aquellas sustancias que representan un riesgo mayor, de acuerdo a los criterios mencionados y reportarlas a través de listados en los que se indiquen las cantidades de estas sustancias, debajo de las cuales se considera que al presentarse un accidente, no se provocarían daños apreciables en una distancia de 100 m, alrededor del punto en que se liberen.

Se pretende, en principio, incluir en dichos listados todas aquellas sustancias consideradas de mayor riesgo, de acuerdo con los que se han establecido para su identificación, aunque posteriormente se irán anexando a estas, las demás sustancias que son de igual importancia por su peligrosidad, hasta cubrir el total de las sustancias peligrosas, existentes en el país, incluyendo las que pudieran importarse de otros lugares. Para facilitar la comprensión e interpretación de los términos utilizados en el presente capítulo, se definieron los siguientes conceptos:

**Actividades altamente riesgosas:**

Son aquellas acciones, serie de pasos u operaciones comerciales y/o de fabricación industrial en que se encuentran presentes una o mas sustancias peligrosas, en determinadas cantidades que al ser liberadas por condiciones anormales de operación o externas, provocarían accidentes mayores.

**Sustancias peligrosas:**

Son aquellas que por sus características inflamables, explosivas, tóxicas, reactivas, corrosivas, radioactivas o biológicas, pueden ocasionar daños a los ecosistemas, a

la población o a sus bienes. Se identifican como sustancias químicas con propiedades tóxicas las siguientes:

**Sustancias inflamables:**

Se consideran como sustancias inflamables aquellas que son capaces de formar una mezcla con el aire en concentraciones tales, para prenderse espontáneamente o por la acción de una chispa.

**Sustancias explosivas:**

Es la explosión repentina, por turbulencia, originada por la ignición de cierto volumen de vapor inflamable, acompañadas por ruido, junto con fuerzas físicas violentas, capaces de dañar seriamente las estructuras, por el paso de los gases que se expanden rápidamente.

**Sustancias tóxicas:**

Son aquellas que causan daños al tejido viviente cuando se absorben en dosis relativamente pequeñas. La cantidad o dosis es una característica esencial que indica el grado de toxicidad de cada sustancia. Las sustancias tóxicas pueden actuar sobre el sistema nervioso central, los riñones, el hígado, así como la sangre, por inhalación o ingestión, también pueden entrar al cuerpo por absorción de la piel. El grado de toxicidad de las sustancias, puede expresarse en muy diferentes formas, para distintos fines, por lo que se ha tratado de encontrar un enfoque que permita la compatibilidad entre los criterios de toxicidad de tipo de salud ocupacional, con los tipo medico, a fin de lograr una correcta identificación en el ámbito del equilibrio ecológico.

## 2.6 Naturaleza del riesgo

### 2.6.1 Definición de riesgo

Riesgo es la posibilidad de sufrir un daño o pérdida y esta posibilidad ocurre durante casi cualquier actividad humana. El daño o pérdida es una consecuencia adversa potencial de un evento peligroso. El riesgo de un evento define la probabilidad combinada de un evento y la gravedad de consecuencias potenciales.

Los riesgos no siempre pueden ser evitados, pero si pueden ser minimizados. El riesgo en cualquier instalación industrial puede ser dividido en niveles de contingencia.

Una contingencia en un evento que si se presenta u ocurre, es capaz de causar una emergencia. Un ejemplo puede ser una falla en el agua de enfriamiento en una planta química. Esta es una sola contingencia que puede causar un calentamiento en el equipo y una sobrepresión si no esta preparado para ello. Una doble contingencia son dos eventos no relacionados que si se presentan juntos (simultáneamente o secuencialmente), pueden conducir a una situación de emergencia. Existen muchos términos asociados a la discusión de riesgo, los siguientes son ejemplos comunes:

- **Riesgo.** Es la posibilidad de sufrir un daño o perdida. Puede ser expresado como el posible daño a ocurrir en un periodo de tiempo dado como resultado de ciertas actividades.
- **Aceptabilidad del riesgo.** Una determinación por las partes afectadas de que los beneficios y costos de evaluación del riesgo son valiosos.
- **Comunicación del riesgo.** Un intercambio provechoso de información sobre salud o riesgos ambientales entre las partes afectadas o interesadas. Esta comunicación puede incluir una discusión sobre las consecuencias del riesgo y los controles del mismo.
- **Administración del riesgo.** Proceso de toma de decisiones en cuanto la aceptabilidad del riesgo y su control. El control de riesgo se aplica normalmente si el riesgo no mitigado es juzgado como inaceptable.
- **Percepción del riesgo.** La creencia de un grupo o individuo sobre las bases del riesgo acerca de sus valores y definiciones internas. La percepción pública sobre el riesgo es a menudo muy diferente que la percepción industrial del riesgo.

- Prevención del riesgo. Paso donde el riesgo o su exposición es eliminado a través de la suspensión de una actividad.
- Control y mitigación del riesgo. Ingeniería, equipo y procedimientos de medidas de control que reduzcan la probabilidad y severidad de las consecuencias de un riesgo identificado.
- Transferencia del riesgo. Usualmente se refiere al cambio legal del riesgo financiero de una actividad a una tercera parte como una compañía de seguros.

Los riesgos son evaluados o cuantificados de manera que pueden ser comparados, priorizados y mitigados utilizando un acercamiento racional. Una simple cuantificación rompe el riesgo de un evento en dos partes más fáciles de cuantificar; la probabilidad o frecuencia de un evento y las consecuencias del evento. La manera clásica de definir el riesgo es entonces la ecuación:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencias}$$

### 2.6.2 Tipos de riesgos

Existen tipos básicos de riesgo asociados a operaciones industriales; riesgo de seguridad operacional y riesgo ambiental. Ambos contemplan el riesgo a la salud humana. El riesgo ambiental está asociado con eventos que dañan el aire, agua, tierra, flora y fauna, mientras que el riesgo de seguridad está asociado específicamente con eventos que atentan contra la salud y la vida humana. Algunos riesgos caen dentro de ambas categorías. Por ejemplo, la liberación accidental de químicos peligrosos puede ser vista como una preocupación de seguridad bajo ciertas circunstancias y como una preocupación ambiental bajo otras circunstancias. Las liberaciones pequeñas y limitadas pueden afectar la salud de un solo trabajador teniendo un efecto insignificante en el ambiente. Las liberaciones de una misma sustancia sobre una área extensa pueden ser tanto problemas de seguridad como ambientales. La mayoría del análisis de riesgo desarrollado actualmente por la industria es para los riesgos de salud y seguridad

humana, así mismo el análisis de riesgo ambiental se ha vuelto cada vez mas común.

### Categorías de riesgo ambiental

Todos los riesgos están asociados con peligros particulares que hacen que ciertos eventos amenacen potencialmente al ambiente o la seguridad. Las categorías generales de riesgo ambiental de las actividades industriales se muestran a continuación:

- Emisiones atmosféricas;
- Descargas de aguas residuales;
- Descargas de agua de lluvia;
- Residuos sólidos peligrosos;
- Residuos líquidos peligrosos;
- Residuos sólidos no peligrosos;
- Residuos líquidos no peligrosos;
- Contaminación de agua superficial;
- Contaminación de agua subterránea;
- Contaminación del suelo; y
- Incumplimiento de la legislación.

La tabla 1 muestra algunos ejemplos de riesgos específicos dentro de estas categorías generales.

Tabla 1  
Riesgos Ambientales

| Área                             | Riesgo   |
|----------------------------------|--|
| Aire                             | Emisión de contaminantes tóxicos<br>Emisión de radionuclidos<br>Emisión de contaminantes dañinos   |
| Agua superficial                 | Aguas residuales tratadas inadecuadamente<br>Derrames de productos químicos<br>Lixiviados<br>Escapes de agua contaminada<br>Agua subterránea contaminada         |
| Agua subterránea                 | Derrames químicos<br>Lixiviados<br>Superficie contaminada o infiltración de agua de lluvia   |
| Suelo                            | Disposición inadecuada de residuos químicos<br>Disposición inadecuada de radionuclidos<br>Disposición inadecuada de residuos sólidos                             |
| Incumplimiento de la legislación | Excedencia de los límites máximos permisibles<br>Falta de obtención de permisos<br>Muestreos y análisis incorrectos<br>Transferencia de propiedades contaminadas |

Categorías de riesgo de seguridad operacional:

Las categorías generales de riesgo de seguridad para las instalaciones industriales se muestran a continuación:

- Peligros físicos (elevaciones y agua);
- Peligros mecánicos (equipo en movimiento);
- Tensión mecánica;
- Peligros eléctricos;
- Exposición química;
- Incendios;

- Explosiones;
- Peligros de ionización radioactiva;
- Riesgos por radiación electromagnética; y
- Incumplimiento de la legislación.

La tabla 2 muestra algunos ejemplos de riesgos específicos dentro de estas categorías.

Tabla 2  
Riesgos de Seguridad Operacional

| Área                             | Riesgo  |
|----------------------------------|---|
| Físicos y químicos               | Físicos (altura y agua)<br>Eléctricos<br>Mecánico (equipo en movimiento, tensión)<br>Materiales peligrosos<br>Exposición química<br>Incendios<br>Biológicos |
| Incumplimiento de la legislación | Federal<br>Estatal<br>Local   |
| Terceros                         | Quejas de daños y enfermedades<br>Quejas del producto<br>Responsabilidades profesionales  |

### 2.6.3 Cuantificación y comparación del riesgo

En términos cuantitativos, el riesgo puede ser comparado si se han establecido medidas de cada uno de sus componentes; la probabilidad y consecuencias. Debido a que el riesgo por si solo contiene incertidumbre, un método para medir el riesgo relativo consiste en utilizar un método de puntuaciones cuantitativas y diferentes clases de eventos de riesgo en términos de las dos componentes del

riesgo. El método más sencillo consiste en la aplicación de clases de diversos grados, cada una a la probabilidad o frecuencia y a las consecuencias. Después de procesar los primeros valores resultantes para el riesgo, los eventos son comparados dividiendo las puntuaciones del riesgo en clases, de manera que se mantengan las categorías alta, mediana y baja. La clasificación de cada componente no es completamente objetiva, se tienen que hacer estimaciones para la frecuencia relativa y consecuencias relativas basadas en una combinación de criterios objetivos y jurisdicción profesional. La mayoría de los sistemas comparativos de riesgo desarrollan una clasificación completa del mismo, basada en una clasificación separada de la probabilidad de un evento y la severidad de las consecuencias del mismo. Los diferentes sistemas utilizan diferentes escalas para ponderar la severidad y probabilidad; sin embargo, las escalas normalmente tienen de 3 a 7 divisiones, de la menor a la más severa. Las categorías de las consecuencias de seguridad operacional se definen de la menor a la más severa como sigue:

- Categoría 1.- Consecuencias catastróficas. Una o múltiples muertes humanas pueden ocurrir como resultado de un evento en esta categoría.
- Categoría 2.- Consecuencias críticas. Daños humanos severos pueden ocurrir como resultado de un evento de esta categoría.
- Categoría 3.- Consecuencias marginales. Daños menores pueden ocurrir como resultado de un evento de esta categoría.
- Categoría 4.- Consecuencias insignificantes. Efectos no medibles pueden ocurrir como resultado de un evento de esta categoría, pero el evento puede ser una violación de ciertos criterios.

Los límites entre algunas de estas categorías son confusos y la elección de la categoría adecuada es por lo tanto un poco subjetiva. Por ejemplo, cualquier evento con la fuerza suficiente para provocar un daño severo humano, (categoría 2) ciertamente es capaz de producir una muerte (categoría 1) bajo condiciones similares. La elección de la categoría depende de las características del evento. Se define además las categorías para la probabilidad de cualquier evento del más similar al menos similar como se muestra a continuación:



- Categoría A.- Propenso a ocurrir inmediatamente, o a muy corto plazo.
- Categoría B.- Probablemente ocurrirá en poco tiempo.
- Categoría C.- Posiblemente ocurre a tiempo.
- Categoría D.- Poco probable que ocurra.

En alguna extensión, la separación de la probabilidad y severidad de las consecuencias es difícil. Por ejemplo, un accidente de automóvil puede ser asignado a las consecuencias de la categoría 1 (catastrófico) con una probabilidad de la categoría C (posiblemente ocurra a tiempo), o puede ser asignado a las consecuencias de la categoría 3 (daños menores) con una probabilidad de B (probablemente ocurra). En estos casos, el evaluador debe decidir si selecciona la consecuencia mas severa en el proceso de clases, la cual resultara una conclusión conservadora, o bien si selecciona las consecuencias mas similares, las cuales serán mas razonables, con la desventaja de que se pueden omitir algunos riesgos potenciales. Las categorías de las consecuencias ambientales son algo diferentes que las consecuencias de seguridad, por que los riesgos son diferentes. Para clasificar las consecuencias de riesgo ambiental de manera consistente con las clases de consecuencias de seguridad, se debe seleccionar una escala basada en la experiencia y jurisdicción del equipo evaluador. Las clases de consecuencias del riesgo ambiental se definen de la mas a la menos severa y se enlistan a continuación:

Categoría 1.- Consecuencias humanas severas. Efectos inmediatos o medibles a largo plazo en la salud de la comunidad. Evento tal que pueda tener grandes consecuencias financieras. El evento puede también tener otros efectos en el ecosistema. Un ejemplo es la contaminación del agua subterránea y superficial.

Categoría 2.- Consecuencias severas en la compañía. Este evento no tendrá efectos en la salud y la comunidad, pero puede dañar de manera significativa la reputación y recursos financieros de la compañía. Un ejemplo sería el mal manejo de residuos peligrosos que terminen en un sitio que requiera limpieza y costos de remediación. Fallas significativas en el cumplimiento de la legislación pueden caer también dentro de esta categoría.

Categoría 3.- Consecuencias en el ecosistema. Eventos que dañan la flora y la fauna, pero que no afectan la salud humana caen dentro de esta categoría. Los derrames de petróleo y los incendios pueden caer dentro de la categoría.

Categoría 4.- Consecuencias insignificantes. Eventos con efectos insignificantes a corto y largo plazo pueden caer dentro de esta categoría. Un ejemplo sería una falla temporal en una casa de bolsas. Aunque esta pueda emitir polvo al aire, no sería un evento ambiental significativo.

Para cualquier evento operacional o riesgo, son asignados una categoría de probabilidad y otra de severidad. Utilizando este método, todos los riesgos para una instalación pueden ser clasificados.

Otra medida de las consecuencias es la extensión, o efecto total de las consecuencias. Un evento severo que solamente afecta a una persona tiene una mayor extensión de impacto que un evento severo que puede dañar a varias personas a la vez. La extensión y la severidad son utilizadas conjuntamente en ocasiones, para seleccionar la evaluación global del efecto de las consecuencias. Se proponen cuatro categorías de extensión de las consecuencias:

- Mas de 50 personas regularmente expuestas al peligro.
- A 49 personas regularmente expuestas al peligro.
- A 9 personas regularmente expuestas al riesgo.
- Menos de 5 personas expuestas regularmente al riesgo.

El riesgo puede ser a corto plazo o a largo plazo. Los riesgos a corto plazo son aquellos que ocurren en un periodo corto de tiempo y que pueden ocasionar consecuencias severas inmediatas. Los riesgos a largo plazo son aquellos que resultan de eventos que no tienen consecuencias importantes en un periodo corto de tiempo, pero que pueden tener consecuencias significativas en un periodo largo de tiempo. El riesgo es engañoso, en sí es un fenómeno estadístico con excepciones estadísticas. Ninguna instalación es la excepción. Una instalación con altos riesgos puede que no tenga accidentes reportados. Sin embargo, cuando

todas las instalaciones con un mismo tipo de riesgo son examinadas, habrán usualmente accidentes.

#### 2.6.4 Ejemplos de grado de riesgo.

Una evaluación de riesgo puede ser hecha a consciencia cuando todos los riesgos están medidos de acuerdo con el mismo criterio de riesgo. Varias medidas de riesgo son posibles, clasificándolos desde las consecuencias físicas que puedan ser medidas para evaluar el peligro expresado en dinero. Las consecuencias físicas que pueden ser medidas son mas fáciles para trabajar siendo que estas son menos objeto de juicios personales al azar. Riesgo financiero es mucho mas difícil para determinar por que los juicios acerca de peligros asociados con eventos de riesgo incluyen daños actuales y daños percibidos. El ultimo no puede ser determinado de los principios físicos; por lo tanto, el riesgo inicial aparecería para ser mejor confinada para consecuencias físicas de eventos de riesgo. Esta es la base para el ejemplo de análisis que hemos preparado aquí. Para cada ejemplo citado, las categorías de eventos de riesgo y consecuencias potenciales fueron utilizadas para evaluar los riesgos relativos. El grado esta basado en un análisis de los incidentes potenciales de dichos incidentes como se describió en párrafos anteriores. La lista de resultados de los grados de riesgo de probabilidad e intensidad se muestran en la tabla 3 y esta representado gráficamente en la figura 2-3 por las plantas T y U. Este formato de representación se llama Riesgo Matriz. Este Riesgo Matriz muestra que la mayoría de las categorías ambientales en los sitios están en el abajo, en la esquina izquierda de la matriz y por lo tanto, tiene menos probabilidades de impacto con efectos insignificantes.

Tabla 3

Resumen de la Puntuación Relativa para las Categorías de Riesgo

| Producto                          | Sitio T | Sitio U | Sitio C | Sitio E | Sitio H | Sitio N |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Peligros físicos                  | 1C      | 4D      | 3C      | 4D      | 3C      | 4D      |
| Peligros mecánicos                | 2B      | 3C      | 3B      | 3C      | 2C      | 3B      |
| Tensión mecánica                  | 1C      | 4C      | 4C      | 2C      | 4C      | 1C      |
| Peligros eléctricos               | 3C      | 1B      | 3C      | 1C      | 1C      | 3C      |
| Exposición química                | 3D      | 3C      | 2C      | 3C      | 3C      | 3C      |
| Incendios                         | 4D      | 3B      | 3C      | 3C      | 3D      | 4D      |
| Explosión                         | N/A     | N/A     | 4D      | 2D      | N/A     | N/A     |
| Peligro de ionización y radiación | N/A     | N/A     | 3D      | N/A     | N/A     | 3C      |

Clave: Grado de Intensidad

Grado de Probabilidad:

1; Consecuencias humanas catastróficas      A; Puede ocurrir en un termino cercano

2; Consecuencias criticas                              B; Probablemente ocurrirá a tiempo

3; Consecuencias marginales                              C; Posiblemente puede ocurrir a tiempo

4; Consecuencias insignificantes                              D; Dificil de ocurrir

N/A = No se aplica

Figura 2-3

Matriz Operacional Primaria de Riesgo - Seguridad

|   |        |         |   |    |
|---|--------|---------|---|----|
| A |        |         |   |    |
| B |        | U       | T | U  |
| C | U      | T<br>UU |   | TT |
| D | U<br>T | T       |   |    |
|   | 4      | 3       | 2 | 1  |

Clave: T y UU se refiere a instalaciones específicas. El valor de cada letra en la tabla nos indica cuantos factores de riesgo en una instalación fueron clasificados en un nivel de riesgo específico. También véase la tabla 3.

### 2.7 Identificación de peligros

La identificación de peligros es el paso inicial en la administración de riesgos. El objetivo de la identificación de peligros es determinar cuales sustancias extremadamente peligrosas y situaciones (tanto en las instalaciones como durante el transporte) tienen el potencial de dañar a las personas y propiedades en las comunidades aledañas y que clase de eventos pueden ocurrir. La información que se requiere para la identificación de estos peligros incluye lo siguiente:

- Instalaciones industriales tanto fijas como transportes que contengan productos químicos peligrosos.

- Localizar las instalaciones y los productos químicos en ellas (incluyendo flujo de transporte).
- Tipos y cantidades de los químicos peligrosos.
- Propiedades químicas.
- Uso de los productos químicos (almacenamiento, proceso y transportación).
- Estado físico (incluyendo temperatura y presión).
- Equipo relativo a los productos químicos peligrosos, tales como bombas, compresores, reactores, etc.
- Procedimientos (control de procesos, seguridad, mantenimiento).
- Tipos de eventos peligrosos (tales como fugas, incendios o explosiones).

### 2.7.1 Productos químicos reactivos, inflamables y explosivos

El primer paso en la identificación de peligros, es determinar qué productos químicos peligrosos se encuentran en la instalación, donde se localizan, las cantidades presentes y el estado físico (gas, líquido, sólido, temperatura y presión) de esos productos químicos. Las características físicas de los productos químicos peligrosos, incluyendo toxicidad, inflamabilidad y su potencialidad respecto de explosiones. Adicionalmente a la toxicidad, los productos químicos pueden también ser peligrosos debido a otras propiedades. Las mas importantes de estas son inflamabilidad, explosividad y reactividad que se definen como sigue:

**Inflamabilidad.** Los materiales inflamables son aquellos con bajos puntos de flama que se encienden relativamente a bajas temperaturas. En estos casos se incluye el propano, butano y el gas licuado de petróleo (LPG). Los tipos de fuegos pueden incluir "flamazos" (gases inflamables que son descargados a gran velocidad a tanques, pipas o contenedores y forman flamas arriba de 30 m de largo), provocando explosiones de vapores expandidos de líquidos en ebullición, nubes de fuego de vapor o polvo, fuego en contenedores de líquidos y fuego en sólidos inflamables.

**Explosividad.** Esta es la capacidad de un químico de reaccionar lo suficientemente rápido con él mismo con otros materiales incluyendo el oxígeno del aire ambiente, para causar una explosión. La explosión puede venir de una nube de vapor (el

hidrógeno puede autoencenderse y explotar en el aire al alcanzar ciertas concentraciones) o nube de polvo. Esto también incluye a los gases inflamables que están en una nube de vapor dentro sus límites inferior y superior de explosividad.

Reactividad. Los productos químicos reactivos pueden explotar o reaccionar exotérmicamente con ellos mismos o con otros productos químicos, generando suficiente calor o presión para que resulte una fuga de calor o de sobre presión de un contenedor. Un ejemplo de esto es el metilisocianato (MIC) y la mezcla con agua que ocurrió en Bhopal, India y que causó una sobre presión explosiva y una ruptura en los contenedores, causando la fuga de una nube de vapor tóxico.

Es importante considerar estos productos químicos durante el análisis de los procesos peligrosos, debido a que el fuego o explosión de alguna de estas sustancias puedan provocar accidentes secundarios debido a los productos químicos tóxicos que se liberan al aire. Históricamente, la mayoría de los accidentes en sitio, se han debido a fuego, explosión y a escapes de productos químicos reactivos (resultado de explosiones o fugas por sobre presión). Las nubes de gases tóxicos formadas por una falla o caída catastrófica de tanques de almacenamiento se presentan rara vez. Algunos productos peligrosos (debido a su inflamabilidad, explosividad o reactividad) comúnmente encontrados en las refinerías petroleras y plantas químicas se enlistan en la tabla 4. Para los productos químicos inflamables y explosivos, las fugas de estas fuentes no son inicialmente causadas por fuego o explosión, pero probablemente formaran un charco o nube de vapor que alcanzaran alguna fuente de ignición.

Tabla 4

| Productos Químicos   | Inflamable | Explosivo | Reactivo |
|----------------------|------------|-----------|----------|
| Hidrógeno            | Si         | si        | no       |
| Metano               | Si         | si        | no       |
| Etileno              | Si         | si        | no       |
| Acetileno            | Si         | si        | si       |
| Propileno            | Si         | si        | no       |
| Propano              | Si         | si        | no       |
| Isopentano           | Si         | si        | no       |
| Amonia               | No         | no        | no       |
| Oxido - etileno      | Si         | si        | si       |
| Sulfuro de hidrógeno | Si         | no        | no       |
| Gasolina             | Si         | si        | no       |
| Gas LP               | Si         | si        | no       |



### 3. Estudio de Mecánica de Suelos

#### 3.1 Alcances del estudio

A continuación se presentan los alcances del desarrollo de los trabajos de campo del Estudio de Mecánica de Suelos y Monitoreo en el Complejo Petroquímico "La cangrejera" en el área de la Planta de Tratamiento de Efluentes. Por tal motivo, se hizo necesaria la realización del presente estudio de Mecánica de Suelos para definir el tipo de cimentación mas adecuado para los equipos que integran el proyecto, en este caso en particular el Filtro Prensa.

Debido a lo anterior se ejecuto un programa de trabajo conforme a los alcances solicitados y a la prioridad de los mismos por lo que se realizaron dichas actividades como sigue:

Se ejecutaron (5) sondeos profundos SM-1, 2, 3, 4 y 5, con maquina rotaria el cual se pretende llegar hasta la capa dura (40 a 45 metros aproximadamente), con un muestreo alterado por el método de penetración estándar, así como de muestras inalteradas (tubo shelby).

A la par de estas actividades se realizo otros movimientos colaterales como es el caso de una plataforma adecuada para montar sobre esta la máquina rotaria la cual tendrá que ser anclada o tensada para evitar movimientos durante la perforación.

Una vez tenido lo anterior se realizarán los sondeos profundos conforme a lo explicado anteriormente, así como al final de dicho sondeo para inyectar una lechada cemento - suelo - bentonita, para que quede sellado dicho barreno y no penetre el agua que se maneja en esta área de subsuelo, en esta actividad se tendrá que romper el concreto de la losa del fondo del dique así como la membrana que se tiene en el fondo.

### 3.2 Geología regional y zonificación de suelos

#### Aspectos de la fisiografía

El área en consideración forma parte de la planicie costera del Golfo de México, en ella predominan terrenos bajos y pantanosos con algunos lomeríos.

La plataforma continental, de pequeña pendiente, se prolonga varios kilómetros mar adentro, siendo común encontrar barras arenosas paralelas a la costa.

Las principales corrientes fluviales que componen la red hidrográfica de la zona son el río Coatzacoalcos, con sus afluentes Coachapa y Uzpanapa.

La región en estudio puede dividirse en varias zonas desde el punto de vista geomorfológico y las dos principales son:

a) Llanura de inundación. El río Coatzacoalcos, en cuyas márgenes se localizan las ciudades de Minatitlán, Nanchital y Coatzacoalcos, ha divagado a lo largo de los siglos formando una extensa llanura de inundación. En esta se encuentran cauces temporales, meandros abandonados y grandes extensiones de aguas someras y de pantano. Es importante señalar que estos rasgos están más desarrollados y ocupan mayores extensiones en la margen izquierda del río que en la derecha. Confundida con la llanura de inundación del río se encuentra la planicie costera, que es también terreno bajo donde se han producido inundaciones causadas por el mar cuando ha rebasado las barreras de la costa.

b) Zona costera. Los movimientos eogénicos que tuvieron lugar en el Tercero, dieron lugar a transgresiones del mar depositando arenas y arcillas muy compactadas que están cubiertas por el aluvión reciente y que aparentemente son la base de las lomas de la región. También el viento ha sido un factor importante en la conformación de la costa creando dunas en el litoral y médanos tierra adentro; muchas de las elevaciones que existen en las vecindades del mar son de origen eólico.

## Estratigrafía general

A continuación se presenta una descripción de la estratigrafía de la Cuenca Salina del Itzmo donde se encuentra la zona en estudio, desde un punto de vista geológico. Esta descripción está basada en referencias previas y esta dispuesta en orden cronológico, desde el Mioceno hasta el Pleistoceno.

- a) Formación Filisola (Mioceno medio). se trata de una formación eminentemente arenosa de origen marino y de aguas someras y no contiene macro o microfauna típica. Las regiones donde se presenta mejor desarrollada quedan situadas entre los ríos Coachapa y Uzpanapa y la otra en el área Ixuatlán Moloacán al sureste de Coatzacoalcos.

En la zona del río Uzpanapa esta formación presenta las siguientes características, la parte superior esta constituida por arcillas arenosas de color rojizo. Debajo de estos lechos se encuentran arenas cuarzosas empacadas en matriz arcillosa azul grisáceo a café con abundante cuarzo lechoso y fragmentos de fósiles marinos, los lechos fosilíferos alternan con lechos de areniscas blandas de grano medio ligeramente micáceas de color gris a café.

En seguida se encuentran areniscas duras y suaves similares a las superiores. La parte basal esta formada por lechos de lutita compactos de color gris y café y por capas de arenisca pobremente cementada.

Esta formación se puede considerar como la base u origen de los suelos detectados en la zona de estudio, ya que por el ambiente marino la humedad reinante y el clima caluroso se ha producido la descomposición en los lomerios de la Filisola dando lugar a suelos de colores de café, rojo, anaranjado y amarillo.

- b) Formación cedral (Mioceno superior). Esta formada en términos generales, por arenas, arcillas y conglomerados. Se le supone de origen de medio ambiente palustre. En algunas regiones se han podido distinguir dos partes,

una superior formada por cuerpos arcillosos alternados con arenas que algunas veces presentan lechos de gravas grises con lentes de arcilla abigarrada y otras capas de lignia café, en las que puede notarse la estructura vegetal, y una parte inferior que esta formada por series de arenas con lechos de gravas pobremente estratificadas.

c) Depósitos de Cuaternario. La consumación litológica de estos depósitos es variada, presentándose desde clásticos de grano fino, hasta gravas. En algunos lugares se tienen arenas de grano grueso entremezcladas con gravas y arcillas.

### 3.3 Geología estructural

Los domos salinos que se encuentran en la región son estructuras que se presentan en forma aislada como columnas de sal o en forma de masas intrusivas de gran extensión. Por disolución de la sal o por explotación de la misma pueden quedar cavidades debajo del casquete, que pueden ocasionar hundimientos en forma de graben en una gran extensión; la laguna del Tabasqueño parece ser un ejemplo de hundimiento por dilusión.

Tres grandes fallas cruzan la zona de estudio; las de Zacamboxo y Clarión, que corren aproximadamente paralelas en el sentido W - E y la probable falla del Istmo de Tehuantepec que cruza en el sentido N - S. A esta ultima están asociados los epicentros donde se han generado los sismos de mayores consecuencias en la región y toca entre otras poblaciones a Nanchital, donde la falla se interna en el Golfo de México para interceptar a las otras dos fallas anteriormente mencionadas.

#### Historia sísmica

La región en estudio se localiza en la zona sísmica de la República Mexicana, según las clasificaciones reconocidas a la fecha. La zona de sismos frecuentes en el Estado de Veracruz, queda al sur del paralelo 18°30"N.

En este siglo se han localizado tres epicentros en la plataforma continental del Estado de Veracruz, dos de ellos frente a la ciudad de Coatzacoalcos. El terremoto de agosto de 1959 es el que mas estragos ha causado en la región.

Se ha logrado evaluar que es mayor el efecto sísmico en las trayectorias de las fallas anteriormente mencionadas o en sus inmediaciones, en terrenos blandos y pantanosos, y en lugares ribereños donde las avenidas de los ríos has depositado materiales de acarreo.

| Intensidad relativa | Coatzacoalcos | Minatitlán |
|---------------------|---------------|------------|
| III                 | 19            | 20         |
| IV                  | 11            | 9          |
| V                   | 2             | 5          |
| VI                  | 3             | 3          |
| VII                 | 3             | 3          |

Número de movimientos sísmicos registrados en la zona

Zonificación preliminar del subsuelo. Zonificación estratigráfica.

El área en estudio puede dividirse en cuatro zonas bien definidas desde el punto de vista de su estratigrafía.

- a) Zona 1. Corresponde al área urbana de Coatzacoalcos. Esta compuesta por arenas finas y medias, cuarzosas poco limosas de origen eólico y marino, coloración variable desde amarilla hasta café oscuro, que tienen un espesor mínimo de 30 cm. En algunas exploraciones se encontraron lentes de arcilla y limo arcilloso a partir de 15 metros de profundidad.
- b) Zona 2. En ella se ubican todas las instalaciones portuarias de la margen izquierda del río Coatzacoalcos, desde su cruce con el antiguo puente hasta su desembocadura. La estratigrafía a continuación se describe: superficialmente aparecen arenas arcillosas y limos que descansan sobre

un potente estrato de arcilla limo - arenosa con conchas de origen fluvial, que llega hasta 25 m de profundidad en promedio. Bajo las arcillas se encuentran arenas muy compactas y lutitas alteradas, supuestamente de origen marino.

c) Zona 3. La mayor parte de la ciudad de Minatitlán esta situada en esta zona, a la que corresponde la siguiente estratigrafía: alternancia de arenas limosas y capas de arcillas poco arenosas hasta 20 m de profundidad aproximadamente, que parecen ser suelos residuales de la formación Filisola. Subyaciendo a estos depósitos se localizan arenas poco limosas muy compactas y arcillas de consistencia dura; se considera que estos materiales corresponden a la formación Filisola no intemperizada.

d) Zona 4. Corresponde al área de inundación y de pantanos que rodea a la ciudad de Minatitlán y la zona urbana de Nanchital. En ella se encuentran suelos arcillosos orgánicos y limosos de consistencia blanda seguidos de arenas limosas y arcillosas con intercalaciones de arcilla.

En cuanto al área de Nanchital, estas zonas se pueden integrar de acuerdo a la topografía en dos condiciones diferentes.

Zona baja o de inundación, en la que abundan suelos sueltos y blandos de baja resistencia al corte y alta compresibilidad. Se trata de llanuras de inundación. Fuera de los límites físicos del río, la topografía es prácticamente plana. Solamente áreas escasas emergen del agua. Donde esta se localiza y se estanca, se desarrolla una vegetación característica de la formación de pantanos.

Zona alta o de lomerios, en donde se encuentran con grandes espesores, los suelos de media a alta consistencia y comparativamente mas resistentes y menos compresibles. En la variedad y disposición de los suelos hay otras en que se alternan las arcillas y los limos junto a las arenas. Existen lomerios formados totalmente del suelo residual de la formación Filisola, con signos de fuerte oxidación.

### 3.4 Exploración y muestreo

Con el objeto de conocer las propiedades de los suelos en el lugar, así como su estratigrafía se desarrolló la siguiente exploración geotécnica: Se distribuyeron un total de cinco sondeos en pozo profundo, llevados a diversas profundidades. Tales pozos se desarrollaron empleando dos equipos de perforación marca Acker de manufactura estadounidense, modelo Soil Sentry y AD II, utilizadas de manera indistinta.

Los sondeos se distribuyeron de modo que el acceso de los equipos estuviera acorde con el sitio mas cercano a las áreas de interés, debido a su alto riesgo. No obstante la posición y situación de los mencionados sondeos o perforaciones permite asegurar un excelente conocimiento de los factores estratigráficos y de mecánica de los suelos del lugar.

Durante el Estudio de Mecánica de Suelos como se dijo párrafos anteriores se realizaron cinco sondeos, los que fueron desarrollados mediante la técnica mixta, es decir obteniendo muestras de suelos mediante el penetrómetro estándar, efectuando simultáneamente la prueba SPT de compacidad o consistencia según la Norma ASTM D 2586, por número de golpes con martinete de seguridad. Adicionalmente dentro del sistema mixto de muestreo se hincaron tubos de pared delgada tipo Shelby de cuatro pulgadas de diámetro exterior, funcionando con filos inferiores e insertos en la masa de suelo a presión hidráulica de la maquina perforadora.

Se puede considerar que el muestreo fue óptimo en todos los casos, recurriendo para el control de calidad en el campo al auxilio de un ingeniero residente de perforación. Por otra parte, se efectuó la excavación de un sondeo en pozo a cielo abierto (PCA), llevado hasta la profundidad de 3.00 metros achicando el agua del nivel freático de modo manual. Este PCA se ubica en el área del Cuarto de Control, el cual se proyecta sea ampliado. De este sondeo se extrajeron tanto muestras alteradas como una cúbica inalterada del estrato más desfavorable.

Los sondeos profundos fueron llevados a profundidades diversas, según se muestra en la tabla a continuación:

| SONDEO  | PROFUNDIDAD (m) |
|---------|-----------------|
| SM - 01 | 28.00           |
| SM - 02 | 42.40           |
| SM - 03 | 42.14           |
| SM - 04 | 32.05           |
| SM - 05 | 43.70           |

Todas las muestras se protegieron adecuadamente y fueron empacadas y transportadas al laboratorio para su posterior análisis.

### 3.5 Ensayes de laboratorio

A las muestras obtenidas en el campo se les realizaron las pruebas necesarias para conocer sus características y propiedades, según su aplicabilidad de acuerdo al tipo de suelos encontrados, tales como:

- Contenido visual y al tacto. sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), para conocer su definición y estructura primordial, en cuanto al tipo de material, acorde al tamaño de sus partículas.
- Límites de Atterberg o de plasticidad. Norma ASTM 423-66, para la determinación de los parámetros de los suelos conforme su presencia de agua, es decir su plasticidad, su liquidez. De igual forma con esta prueba se determina la contracción lineal del suelo. Los índices definidos son útil herramienta en la clasificación SUCS, así como sus manifestaciones a la compresibilidad y estados de límite físico.
- Granulometría por mallas. Norma ASTM D 421-58, para la definición en cuanto a la distribución de las partículas sólidas del suelo, en función de su tamaño, cantidad y ocurrencia.



- Densidad o peso específico de los sólidos. Norma ASTM D 854-58, para el conocimiento del peso unitario de la fase sólida del suelo.
- Peso volumétrico natural. Norma ASTM D 2937-71, prueba determinante del peso unitario del suelo en su estado natural inalterado, o posición IN SITU.
- Resistencia en compresión simple o uniaxial. Norma ASTM 2166-66, prueba determinante de la cohesión del material de suelo, así como el módulo de elasticidad del mismo.
- Resistencia en compresión triaxial. Norma ASTM D 2850-70, la cual define mediante confinamientos los valores límite de falla en función de la cohesión, y el ángulo de fricción interna de los suelos. El ensaye puede ser practicado tanto en probetas de material inalterado como en reproducciones del mismo, según sea el caso de aplicación y requerimientos del ingeniero de suelos.
- Consolidación unidimensional. Norma ASTM D 2436-70, ensaye que permite conocer el grado de deformación de un suelo en tanto es sometido a cargas continuas en el tiempo, en función del cambio en su relación de vacíos. Algunas variantes de este ensaye permiten conocer los niveles de expansión o expansividad de los suelos bajo saturación.

### 3.6 Analisis de resultados

#### Interpretación estratigráfica

Con las propiedades y descripciones de los suelos medidas y desarrolladas en cada uno de los sondeos efectuados en el complejo, así como la integración de los resultados, se puede establecer la siguiente secuencia topográfica:

Estrato 1. Relleno constituido por arcillas arenosas de color café rojizo. Su consistencia varía de compacta a muy compacta.

Estrato 2. Arcilla arenosa poco limosa, de color café rojizo, claro y grisáceo, tiene intercalaciones de arena arcillosa. Su consistencia va de blanda a medianamente compacta.

Estrato 3. Arcilla arenosa, poco limosa, de color gris claro y verdoso; tiene intercalaciones de arena arcillosa. Su consistencia va de compacta a muy compacta.

Estrato 4. Arena fina arcillosa, poco limosa, de color gris, con alternancias de arcilla arenosa. La compactación va desde densa a muy compacta.

Estrato 5. Alternancia de arcillas arenosas, arenas finas y arcillosas, de color café claro y gris verdoso. Como se cuenta con mayoría de estratos finos, su consistencia va de compacta a muy compacta.

### 3.7 Capacidad de carga del suelo

Como resultado del Estudio de Mecánica de Suelos se concluye que en el área de influencia para la estructura que soportara a los Filtros Prensa se tiene una capacidad de carga del suelo de  $3.5 \text{ T/m}^2$ ; por lo cual será necesario hacer un mejoramiento en el suelo para incrementar su capacidad de carga, la cual se estima será de  $8 \text{ T/m}^2$ .

### 3.8 Conclusiones y recomendaciones para la cimentación

Se determina para la cimentación de la Subestación para Filtro Prensa debido a la pobre capacidad de carga del suelo; emplear una losa de concreto reforzado a dos metros del terreno natural. Se recomienda para la excavación el empleo de taludes de 2:1 y el achique de del agua con bomba ya que el nivel freático del área se encuentra de 1.70 m a 2.40 m con respecto del terreno natural.

## 4. Análisis y Diseño Estructural de la Subestación

### 4.1 Generalidades

#### a) Introducción

Se lleva a cabo el análisis y diseño estructural de la estructura de concreto que comprende cimentación, planta a +7.400 m y cubierta para dos unidades Filtro Prensa correspondientes a la adecuación del sistema de tratamiento de efluentes del Complejo Petroquímico la Cangrejera, ubicado al sur del Estado de Veracruz.

#### b) Antecedentes

El proyecto de los Filtros Prensa, está contemplados dentro del programa de reconversión de tratamientos de efluentes para prensar y exprimir el agua de los lodos estabilizados y finalmente depositar los lodos en camiones para su acarreo fuera de la planta. El considerar los Filtros Prensa es producto de las recomendaciones de las acciones ambientales (Reconversión del Tratamiento de Efluentes, Acción 3:33) para el Complejo Petroquímico la Cangrejera, Veracruz.

#### c) Terreno de cimentación

Al terreno para apoyo de cimentación se le realizara un saneo de un metro de espesor, en toda el área de la losa, con material sano compactado en capas de 20 cm de espesor, hasta alcanzar un peso volumétrico seco del 95% de prueba Proctor, mejorando con lo anterior las propiedades físicas y mecánicas del suelo. De acuerdo al estudio de mecánica de suelos, las condiciones del suelo a un metro de profundidad de desplante es de una capacidad de carga de 3.5 Ton/m<sup>2</sup> y el nivel freático va de 1.70 a 2.40 m de profundidad con respecto al nivel del terreno natural y en excavación se darán taludes 2:1. Al realizar el saneo del suelo, se incrementara de forma mínima su capacidad de carga, la cual se estima por medio de la distribución de presiones bajo la losa de cimentación resultando de 8 Ton/m<sup>2</sup>.

#### d) Materiales

Concreto  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$  en estructura

Concreto  $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$  en plantilla de cimentación

Acero A-307 bajo en carbono para anclas

Tamaño máximo de agregado grueso 19 mm (3/4")

Barandal

#### 4.2 Estructuración

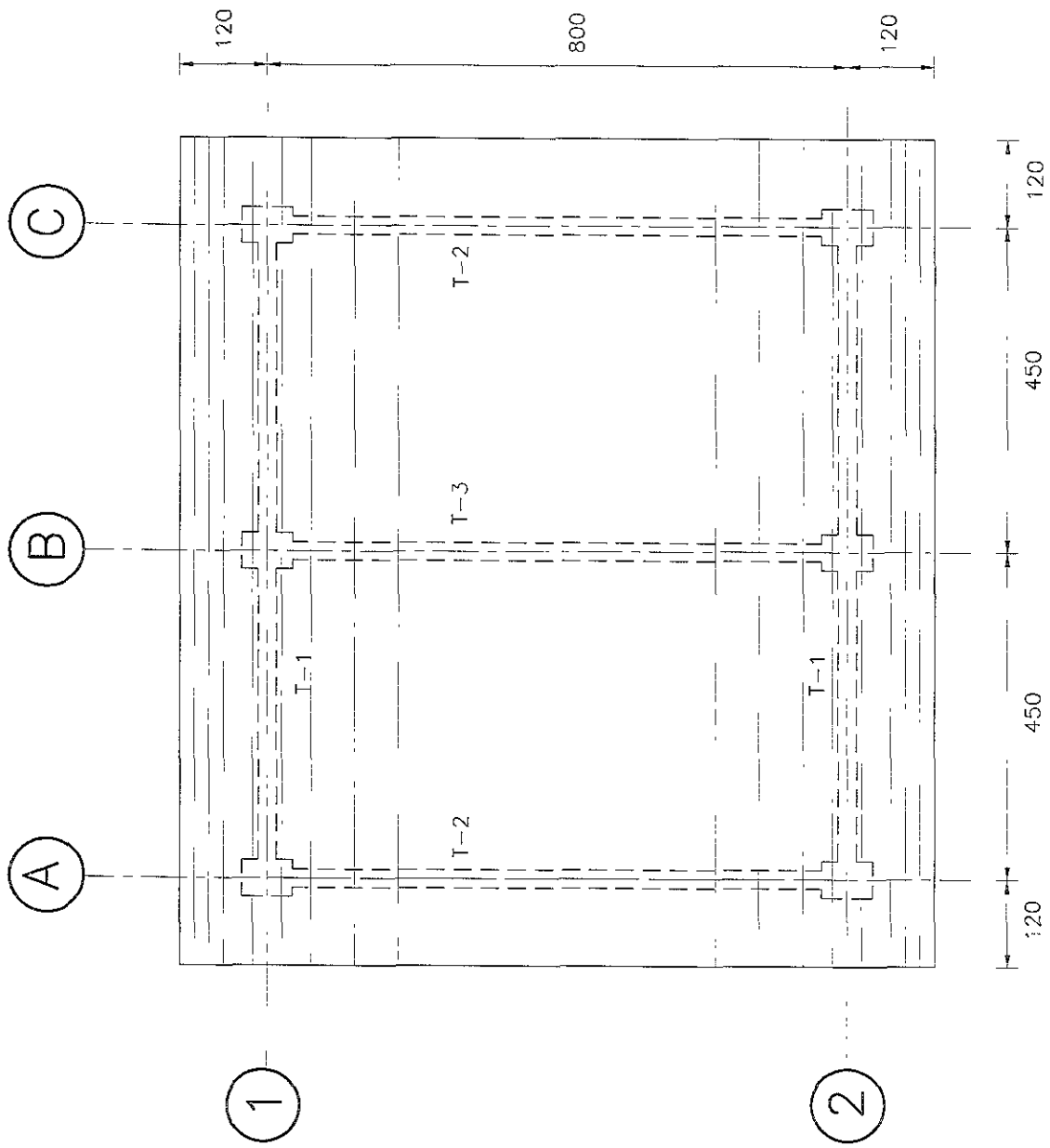
La estructuración se realizara basado en marcos de concreto reforzado, con losa de concreto, inclinada a dos aguas en cubierta y losa de concreto reforzado en nivel de entrepiso. La cimentación es una losa con contratraveses en la parte superior. La escalera es de concreto reforzado, soportada por traveses ligadas al marco de concreto, utilizando barandal en escalera y losa de entrepiso.

4.2.1 Planta losa de cubierta

4.2.2 Planta losa de entrepiso

4.2.3 Elevación marco transversal

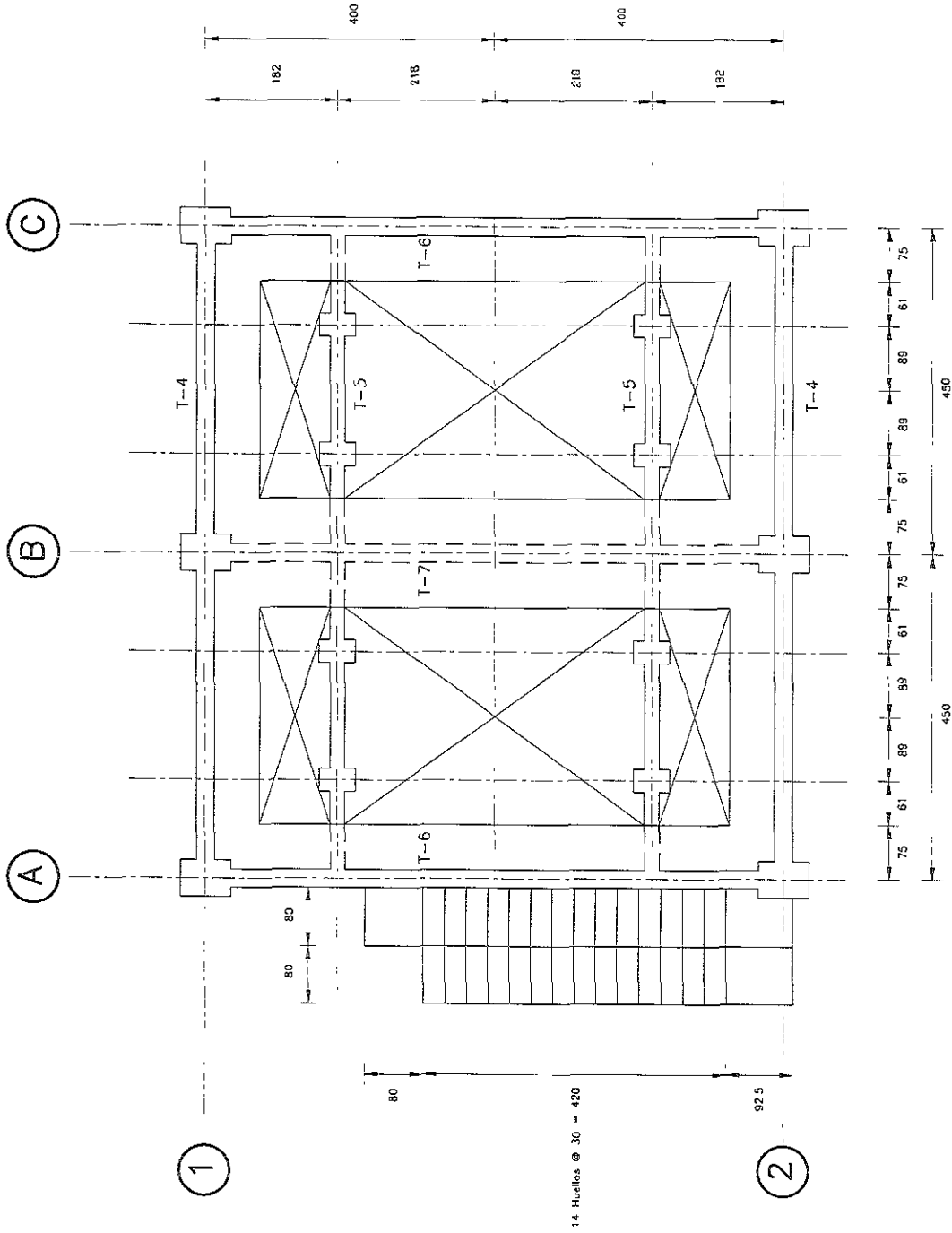
4.2.4 Elevación marco longitudinal



# PLANTA LOSA DE CUBIERTA

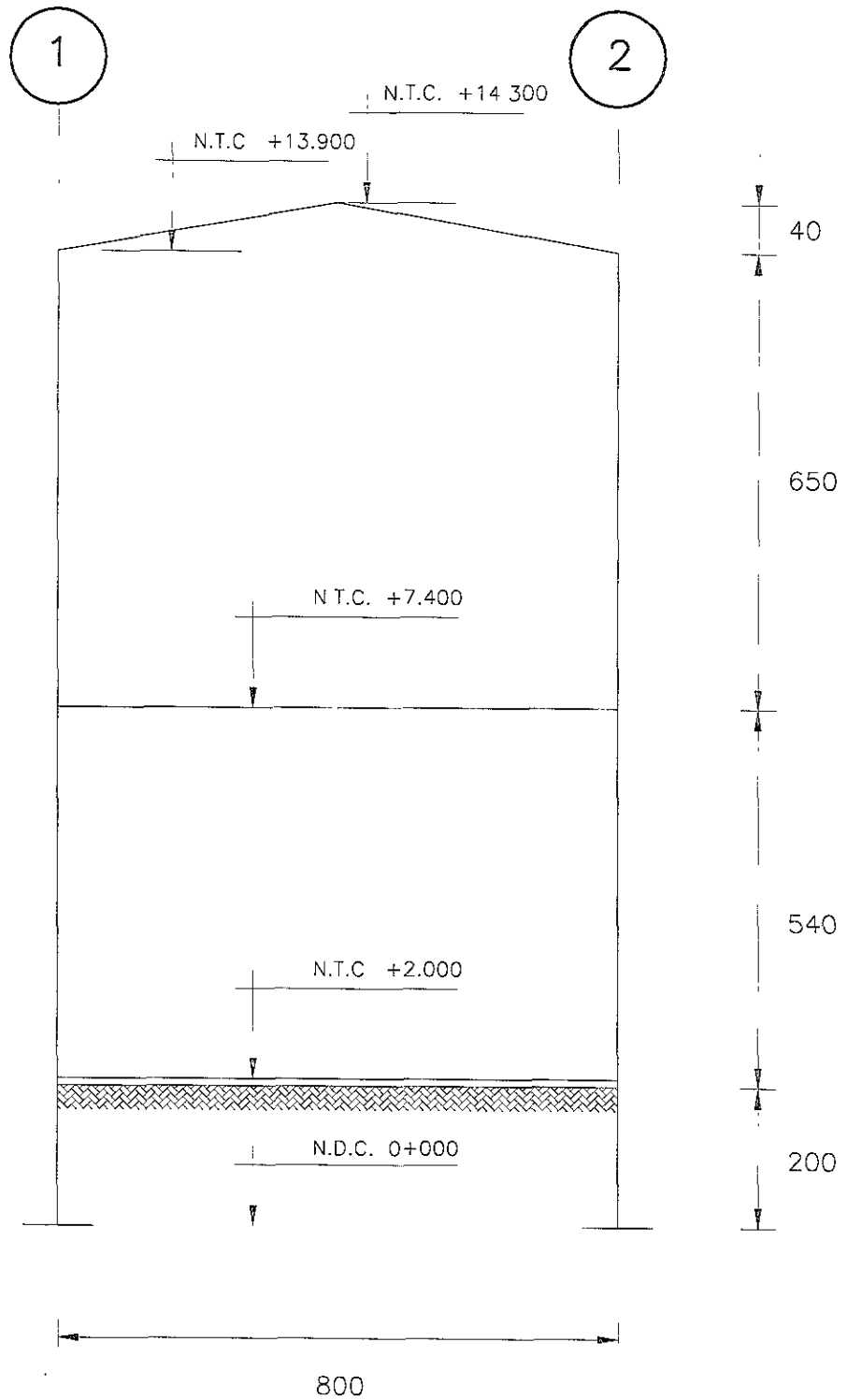
COTAS: CM

ESC: SIN



PLANTA LOSA DE ENTREPISO

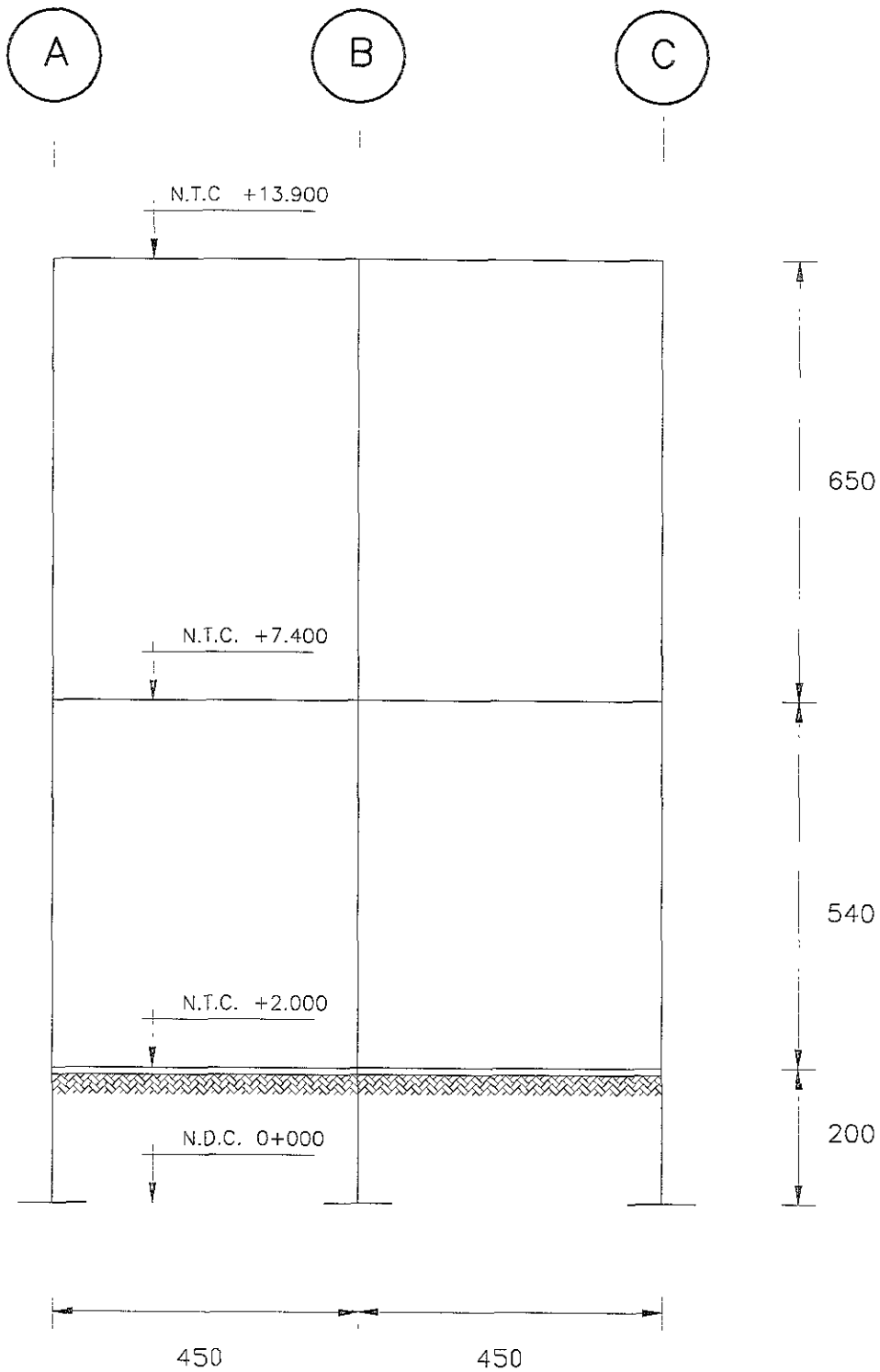
COTAS CM ESC. SIN



# ELEVACION MARCO TRANSVERSAL

COTAS: CM

ESC: SIN



# ELEVACION MARCO LONGITUDINAL

COTAS: CM

ESC: SIN



### 4.3 Análisis de cargas

#### 4.3.1 Análisis de cargas gravitacionales

##### a) Carga muerta

Para fines de calculo se proponen los siguientes valores:

Peso volumétrico del concreto =  $2400 \text{ Kg/m}^3$

Losa de cubierta (H = 10 cm)

Peso propio de la losa =  $0.10 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 240 \text{ Kg/m}^2$

Carga muerta adicional por reglamento =  $40 \text{ Kg/m}^2$

Peso por instalaciones eléctricas =  $15 \text{ Kg/m}^2$

Total =  $295 \text{ Kg/m}^2$

Losa de entrepiso (H = 10 cm)

Peso propio de la losa =  $0.10 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 240 \text{ Kg/m}^2$

Carga muerta adicional por reglamento =  $20 \text{ Kg/m}^2$

Peso por instalaciones eléctricas =  $15 \text{ Kg/m}^2$

Total =  $275 \text{ Kg/m}^2$

Trabe T-1 =  $0.25 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 240 \text{ Kg/m}$

Trabe T-2 =  $0.25 \text{ m} \times 0.50 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 300 \text{ Kg/m}$

Trabe T-3 =  $0.25 \text{ m} \times 0.50 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 300 \text{ Kg/m}$

Trabe T-4 =  $0.25 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 240 \text{ Kg/m}$

Trabe T-5 =  $0.25 \text{ m} \times 0.50 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 300 \text{ Kg/m}$

Trabe T-6 =  $0.25 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 240 \text{ Kg/m}$

Trabe T-7 =  $0.40 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 768 \text{ Kg/m}$

Columnas C-1 y C-2 (b = 50 cm y h = 70 cm)

De nivel de piso terminado a losa de entrepiso (H = 5.4 m):

Columna C-1 y C-2 =  $0.50 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 5.4 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 4536 \text{ Kg}$

De nivel de entrepiso a nivel losa de cubierta (H = 6.5 m):

Columna C-1 y C-2 =  $0.50 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 6.5 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 5460 \text{ Kg}$

Carga del equipo (Dos unidades Filtro Prensa):

Peso vacío = 19000 Kg

Peso de operación = 21000 Kg

Peso de la escalera

Escalones:

$(0.30 \text{ m} \times 0.18 \text{ m}) / 2 \times 0.80 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 156 \text{ Kg/m}$

Rampas =  $0.10 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 202 \text{ Kg/m}$

Peso del barandal:

Nivel de entrepiso =  $34 \text{ m} \times 20 \text{ Kg/m} = 680 \text{ Kg}$

Escalera =  $17 \text{ m} \times 20 \text{ Kg/m} = 340 \text{ Kg}$

Areas tributarias

Areas tributarias a nivel losa de cubierta:

$a_1 = 5.06 \text{ m}^2$

$a_2 = 12.94 \text{ m}^2$

$a_3 = 12.24 \text{ m}^2$

$a_4 = 11.04 \text{ m}^2$

Areas tributarias a nivel losa de entrepiso:

$a_1 = 2.82 \text{ m}^2$

$a_2 = 5.44 \text{ m}^2$

b) Carga viva

Losa de cubierta

Del Reglamento para Construcciones del Distrito Federal (RCDF) de 1997, para una losa con pendiente mayor al 5% se obtiene:

Carga viva máxima =  $40 \text{ Kg/m}^2$

Carga viva reducida =  $20 \text{ Kg/m}^2$

Losa de entrepiso

Para efecto de equipo de mantenimiento y personal de operación de las dos unidades

Filtro Prensa se considera:

$$\text{Carga viva máxima} = 500 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Carga viva reducida} = 0.9 \times \text{Carga viva máxima} = 450 \text{ Kg/m}^2$$

#### 4.3.2 Análisis de cargas accidentales

Carga de sismo

a) Nivel losa de cubierta

Peso de la losa de cubierta:

$$\text{Carga muerta} + \text{Carga viva reducida} = 295 \text{ Kg/m}^2 + 20 \text{ Kg/m}^2 = 315 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Area total} = 10.4 \text{ m} \times 11.4 \text{ m} = 118.56 \text{ m}^2$$

$$W = 315 \text{ Kg/m}^2 \times 118.56 \text{ m}^2 = 37346.4 \text{ Kg}$$

Peso de Trabe T-1 (2 piezas):

$$T-1 = 0.25 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 1620 \text{ kg}$$

$$W = 1620 \text{ Kg} \times 2 \text{ piezas} = 3240 \text{ Kg}$$

Peso de Trabe T-2 y T-3 (3 piezas):

$$T-2 \text{ y } T-3 = 0.25 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 8.0 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 1920 \text{ Kg}$$

$$W = 1920 \text{ Kg} \times 3 \text{ piezas} = 5760 \text{ kg}$$

Peso de las columnas (6 piezas):

Para el peso de las columnas solo se tomara en cuenta la mitad de la longitud de losa de entrepiso a losa de cubierta.

$$C-1 \text{ y } C-2 = 0.50 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 3.25 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 2730 \text{ Kg}$$

$$W = 2730 \text{ Kg} \times 6 \text{ piezas} = 16380 \text{ Kg}$$

Peso total del nivel losa de cubierta:

$$W_T = 37346.4 \text{ Kg} + 3240 \text{ Kg} + 5760 \text{ Kg} + 16380 \text{ Kg} = 62726.4 \text{ Kg}$$

b) Nivel de entrepiso

Peso de losa de entrepiso:

$$\text{Carga muerta} + \text{Carga viva reducida} = 275 \text{ Kg/m}^2 + 450 \text{ Kg/m}^2 = 725 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Area total} = a_1 \times 4 + a_2 \times 4 = 2.82 \text{ m}^2 \times 4 + 5.44 \text{ m}^2 \times 4 = 33 \text{ m}^2$$

$$W = 725 \text{ Kg/m}^2 \times 33 \text{ m}^2 = 23925 \text{ Kg}$$

Peso de Trabe T-4 (2 piezas):

$$T-4 = 0.25 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 1620 \text{ Kg}$$

$$W = 1620 \text{ Kg/m} \times 2 \text{ piezas} = 3240 \text{ Kg}$$

Peso de Trabe T-5 (2 piezas):

$$T-5 = 0.25 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 2160 \text{ Kg}$$

$$W = 2160 \text{ Kg} \times 2 \text{ piezas} = 4320 \text{ Kg}$$

Peso de Trabe T-6 (2 piezas):

$$T-6 = 0.25 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 8.0 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 1440 \text{ Kg}$$

$$W = 1440 \text{ Kg} \times 2 \text{ piezas} = 2880 \text{ Kg}$$

Peso de Trabe T-7 (1 pieza):

$$T-7 = 0.40 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times 8.0 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 5376 \text{ Kg}$$

$$W = 5376 \text{ Kg} \times 1 \text{ pieza} = 5376 \text{ Kg}$$

Peso de columnas (6 piezas):

Para el peso de las columnas se tomara en cuenta la mitad de la longitud del nivel de piso terminado a nivel de losa de entrepiso y la mitad de losa de entrepiso a nivel de cubierta.

$$C-1 \text{ y } C-2 = 0.50 \text{ m} \times 0.70 \text{ m} \times (2.70 + 3.25 \text{ m}) \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 4998 \text{ Kg}$$

$$W = 4998 \text{ Kg} \times 6 \text{ piezas} = 29988 \text{ Kg}$$

Peso del Filtro Prensa (2 Unidades):

$$W = 21000 \text{ Kg} \times 2 \text{ Unidades} = 42000 \text{ Kg}$$

Peso del barandal:

$$W = 34 \text{ m} \times 20 \text{ Kg/m} = 680 \text{ Kg}$$

Peso total del nivel de entrepiso:

$$W_T = 23925 \text{ Kg} + 3240 \text{ Kg} + 4320 \text{ Kg} + 2880 \text{ Kg} + 5376 \text{ Kg} \\ + 29988 \text{ Kg} + 42000 \text{ Kg} + 680 \text{ Kg} = 112409 \text{ Kg}$$

Del Manual de Diseño de Obras Civiles de C.F.E. por Sismo, se obtienen los siguientes valores:

Construcción grupo B

Estructura tipo 1

Zona B (sur de Veracruz)

Tipo de suelo III

$$Q = 2.0$$

$$C = 0.36$$

Por lo tanto el coeficiente sísmico será:

$$C_s = \frac{C}{Q} = \frac{0.36}{2.0} = 0.18$$

Y la fuerza será calculada con la formula:

$$F = \frac{W_i \times H_i}{\sum W_i \times H_i} \times C_s \times W_T$$

| Nivel     | W <sub>nivel</sub><br>Kg | H<br>m | W <sub>nivel</sub> x H<br>Kg-m | F<br>Kg  | V<br>Kg  | h<br>m | Mv<br>Kg-m |
|-----------|--------------------------|--------|--------------------------------|----------|----------|--------|------------|
| Cubierta  | 62726.40                 | 11.90  | 746444.16                      | 17386.04 | 17386.04 | 6.50   | 113009.26  |
| Entrepiso | 112409.00                | 5.40   | 607008.60                      | 14138.33 | 31524.37 | 5.40   | 170231.60  |
| Total     | 175135.40                |        | 1353452.76                     |          |          |        | 283240.86  |

Distribución de la fuerza F

A nivel losa de cubierta:

$$F = 17386.04 \text{ Kg} / 3 \text{ marcos transversales} = 5795.35 \text{ Kg}$$

$$F = 17386.04 \text{ Kg} / 2 \text{ marcos longitudinales} = 8693.02 \text{ Kg}$$

A nivel losa de entrecimso:

$$F = 14138.33 \text{ Kg} / 3 \text{ marcos transversales} = 4712.78 \text{ Kg}$$

$$F = 14138.33 \text{ Kg} / 2 \text{ marcos longitudinales} = 7069.17 \text{ Kg}$$

Bajada de cargas a marcos

a) Marco transversal ejes A y C

a.1) Nivel losa de cubierta

Peso por carga muerta:

$$\text{Losa de cubierta} = 295 \text{ Kg/m}^2 \times 23.98 \text{ m}^2 = 7074.1 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 884.26 \text{ Kg/m}$$

$$T-2 = 300 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga muerta} = 884.26 \text{ Kg/m} + 300 \text{ Kg/m} = 1184.26 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva máxima:

$$\text{Losa de cubierta} = 40 \text{ Kg/m}^2 \times 23.98 \text{ m}^2 = 959.2 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 119.9 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva reducida:

$$\text{Losa de cubierta} = 20 \text{ Kg/m}^2 \times 23.98 \text{ m}^2 = 479.6 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 59.95 \text{ Kg/m}$$

a.2) Nivel losa de entrecimso

Peso por carga muerta:

$$\text{Losa de entrecimso} = 275 \text{ Kg/m}^2 \times 5.44 \text{ m}^2 = 1496 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 187 \text{ Kg/m}$$

$$T-6 = 240 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga Muerta} = 187 \text{ Kg/m} + 240 \text{ Kg/m} = 427 \text{ Kg/m}$$

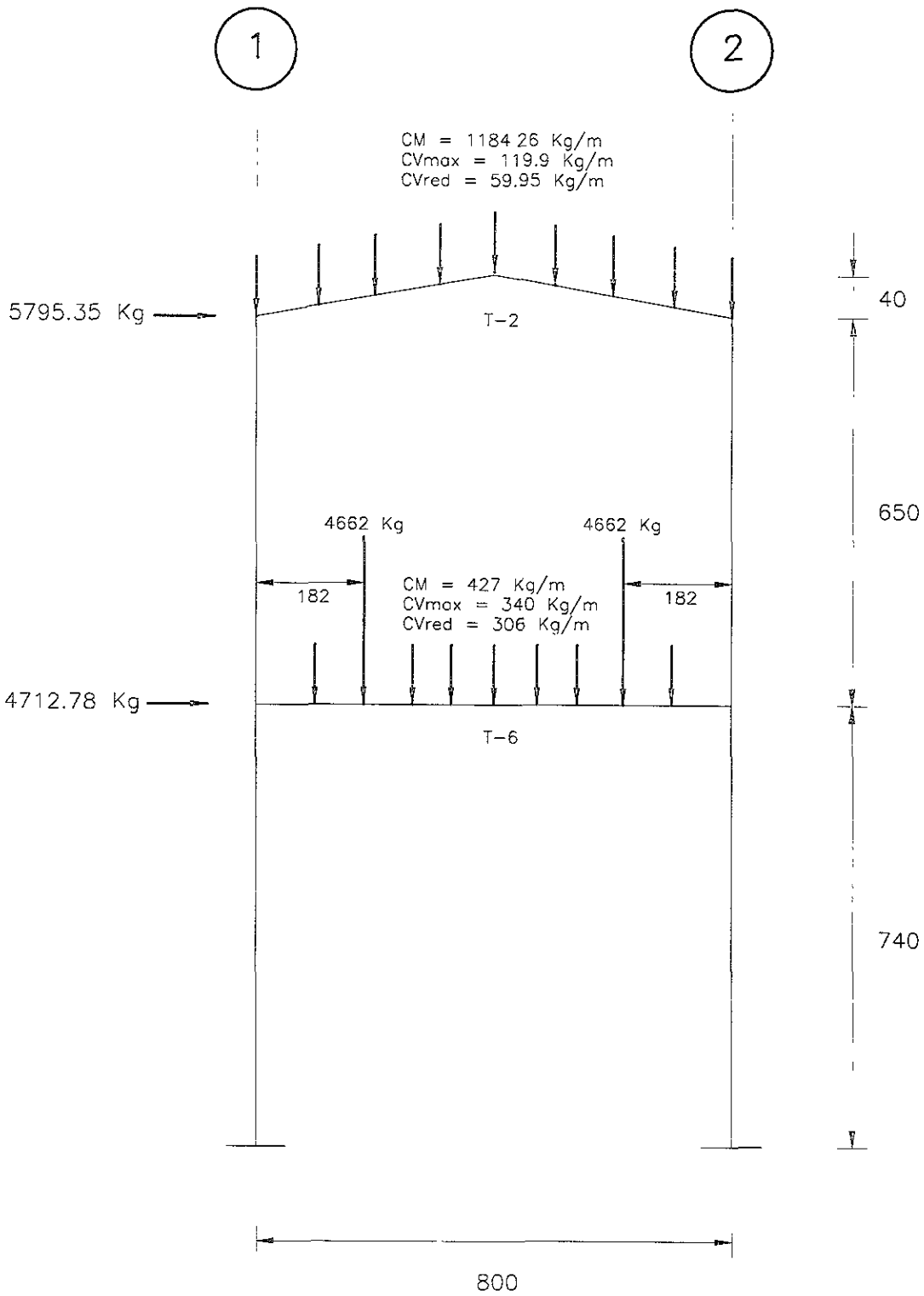
Peso por carga viva máxima:

$$\text{Losa de entrecimso} = 500 \text{ Kg/m}^2 \times 5.44 \text{ m}^2 = 2720 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 340 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva reducida:

$$\text{Losa de entrecimso} = 450 \text{ Kg/m}^2 \times 5.44 \text{ m}^2 = 2448 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 306 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Reacción de trabe T-5} = 4662 \text{ Kg}$$



# MARCO TRANSVERSAL EJE A Y C (ESQUINA)

a) Marco transversal eje B (central)

b.1) Nivel losa de cubierta

Peso por carga muerta:

$$\text{Losa de cubierta} = 295 \text{ Kg/m}^2 \times 25.88 \text{ m}^2 = 7634 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 954.33 \text{ Kg/m}$$

$$\text{T-3} = 300 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga muerta} = 954.33 \text{ Kg/m} + 300 \text{ Kg/m} = 1254.33 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva máxima:

$$\text{Losa de cubierta} = 40 \text{ Kg/m}^2 \times 25.88 \text{ m}^2 = 1035.2 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 129.4 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva reducida:

$$\text{Losa de cubierta} = 20 \text{ Kg/m}^2 \times 25.88 \text{ m}^2 = 517.6 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 64.7 \text{ Kg/m}$$

b.2) Nivel de entrepiso

Peso por carga muerta:

$$\text{Losa de entrepiso} = 275 \text{ Kg/m}^2 \times 10.88 \text{ m}^2 = 2992 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 374 \text{ Kg/m}$$

$$\text{T-7} = 768 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga muerta} = 374 \text{ Kg/m} + 768 \text{ Kg/m} = 1142 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva máxima:

$$\text{Losa de entrepiso} = 500 \text{ Kg/m}^2 \times 10.88 \text{ m}^2 = 5440 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 680 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva reducida:

$$\text{Losa de entrepiso} = 450 \text{ Kg/m}^2 \times 10.88 \text{ m}^2 = 4896 \text{ Kg} / 8 \text{ m} = 612 \text{ Kg/m}$$

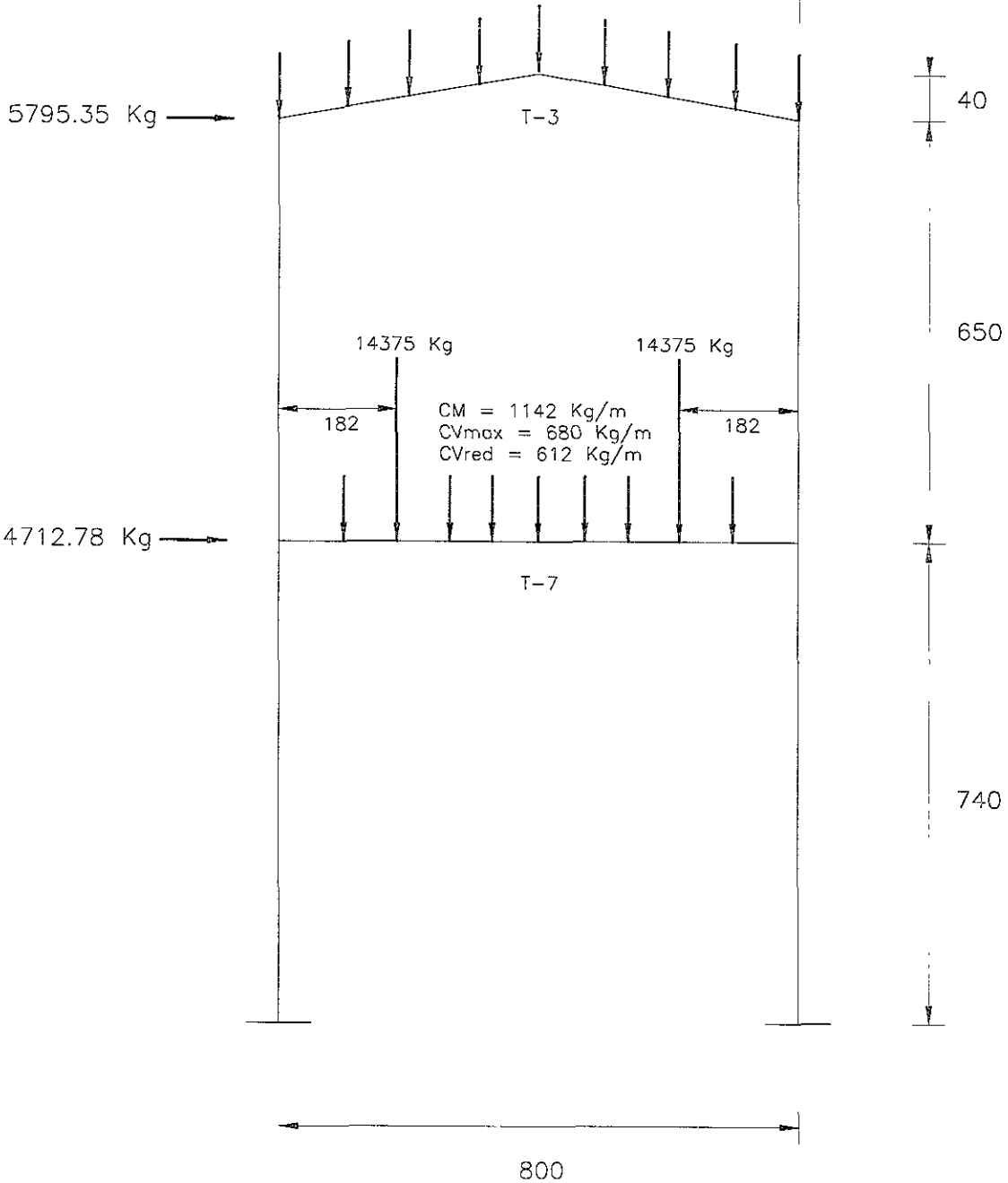
$$\text{Reacción de trabe T-5} = 14375 \text{ Kg}$$



1

2

CM = 1254.33 Kg/m  
CVmax = 129.4 Kg/m  
CVred = 64.70 Kg/m



# MARCO TRANSVERSAL EJE B (CENTRAL)

c) Marco longitudinal ejes 1 y 2

c.1) Nivel losa de cubierta

Peso por carga muerta:

$$\text{Losa de cubierta} = 295 \text{ Kg/m}^2 \times 22.37 \text{ m}^2 = 6597.97 \text{ Kg} / 9 \text{ m} = 733.11 \text{ Kg/m}$$

$$\text{T-1} = 240 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga muerta} = 733.11 \text{ Kg/m} + 240 \text{ Kg/m} = 973.11 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva máxima:

$$\text{Losa de cubierta} = 40 \text{ Kg/m}^2 \times 22.37 \text{ m}^2 = 894.8 \text{ Kg} / 9 \text{ m} = 99.42 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva reducida:

$$\text{Losa de cubierta} = 20 \text{ Kg/m}^2 \times 22.37 \text{ m}^2 = 447.4 \text{ Kg} / 9 \text{ m} = 49.71 \text{ Kg/m}$$

c.2) Nivel losa de entrepiso

Peso por carga muerta:

$$\text{Losa de cubierta} = 275 \text{ Kg/m}^2 \times 5.64 \text{ m}^2 = 1551 \text{ Kg} / 9 \text{ m} = 172.33 \text{ Kg/m}$$

$$\text{T-4} = 240 \text{ Kg/m}$$

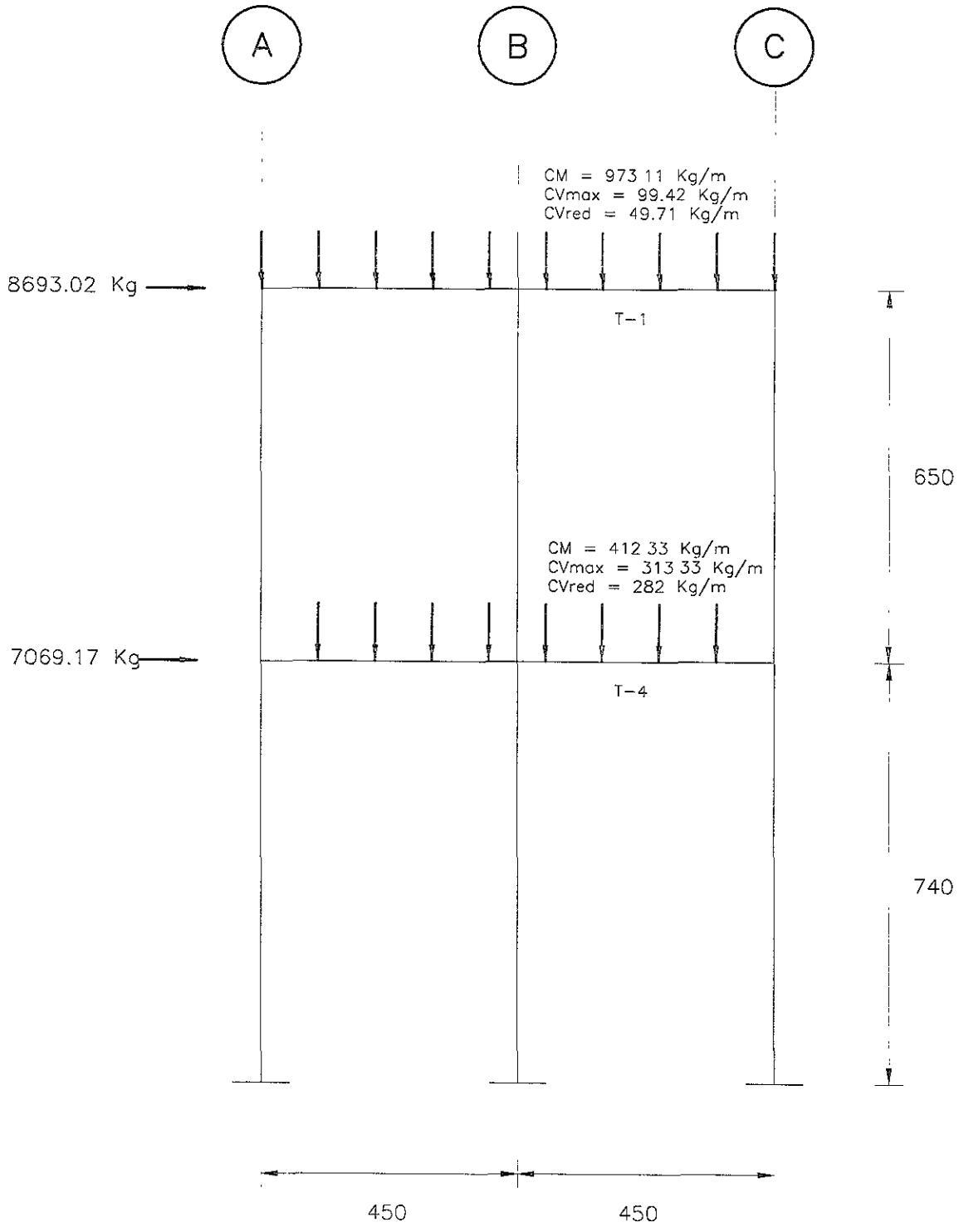
$$\text{Carga muerta} = 172.33 \text{ Kg/m} + 240 \text{ Kg/m} = 412.33 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva máxima:

$$\text{Losa de cubierta} = 500 \text{ Kg/m}^2 \times 5.64 \text{ m}^2 = 2820 \text{ Kg} / 9 \text{ m} = 313.33 \text{ Kg/m}$$

Peso por carga viva reducida:

$$\text{Losa de cubierta} = 450 \text{ Kg/m}^2 \times 5.64 \text{ m}^2 = 2538 \text{ Kg} / 9 \text{ m} = 282 \text{ Kg/m}$$



# MARCO LONGITUDINAL EJE 1 y 2

#### 4.4 Diseño de elementos estructurales

Materiales:

$$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

Constantes de diseño:

$$f^*c = 0.80 f'c = 0.80 \times 250 \text{ Kg/cm}^2 = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''c = 0.85 f^*c = 0.85 \times 200 \text{ Kg/cm}^2 = 170 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\rho_b = \frac{f''c}{fy} \times \frac{4800}{fy + 6000} = \frac{170}{4200} \times \frac{4800}{4200 + 6000} = 0.019$$

$$\rho_{\min} = \frac{0.7 \sqrt{f'c}}{fy} = \frac{0.7 \sqrt{250}}{4200} = .00264$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.019 = 0.0143$$

Para el diseño por flexión:

Momento resistente por flexión

$$M_R = F_R f''c b d^2 q (1 - 0.5q)$$

$$F_R = 0.9$$

El índice de refuerzo requerido para el momento ultimo será:

$$q = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{F_R b d^2 f''c}}$$

El porcentaje de acero requerido:

$$\rho = q \frac{f''c}{fy}$$

El área de acero requerida:

$$A_s = \rho b d$$

Para el diseño por cortante:

$$\text{Si } \rho < 0.01 \Rightarrow V_R = F_R b d (0.2 + 30 \rho) \sqrt{f^* c}$$

$$\text{Si } \rho \geq 0.01 \Rightarrow V_R = 0.5 F_R b d \sqrt{f^* c}$$

$$F_R = 0.8 \text{ (Factor de resistencia a cortante)}$$

$$\text{Si } V_u \leq 1.5 F_R b d \sqrt{f^* c}$$

$$\text{La separacion maxima de estribos sera : } S = \frac{d}{2}$$

$$\text{Si } V_u > 1.5 F_R b d \sqrt{f^* c}$$

$$\text{La separacion maxima de estribos sera : } S = \frac{d}{4}$$

Por cortante actuante actuante la separacion maxima sera :

$$S = \frac{F_R A_v f_y d}{V_u - V_R}$$

Por geometria de la viga la separacion sera :

$$S = \frac{F_R A_v f_y}{3.5 b}$$

donde;  $A_v$  = Area de acero de todas las ramas del estribo resistente a cortante.

De todas las separaciones calculadas anteriormente regira la menor de ellas.

Diseño de la losa de cubierta (colada monolíticamente con sus apoyos)

Carga de servicio ( $W_s$ ) = Carga muerta + Carga viva máxima

$$W_s = 295 \text{ Kg/m}^2 + 40 \text{ Kg/m}^2 = 335 \text{ Kg/m}^2$$

Estimación del peralte mínimo (tablero critico de esquina):

$$d_{\min} = \frac{\text{Perimetro}}{270} \times 1.25 = \frac{2(450 + 400)}{270} \times 1.25 = 7.87 \text{ cm}$$

El procedimiento de calculo anterior es aplicable para losas en que:

$$f_s \leq 2000 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{y} \quad W \leq 380 \text{ Kg/m}^2$$

$$f_s = 0.6 f_y = 0.6 \times 4200 \text{ Kg/cm}^2 = 2520 \text{ Kg/cm}^2 > 2000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$W_s = 335 \text{ Kg/m}^2 < 380 \text{ Kg/m}^2$$

Por lo tanto el peralte mínimo se obtendrá multiplicando el valor anterior por:

$$0.034 \sqrt[4]{f_s \times W_s}$$

$$d_{\min} = 7.87 \times 0.034 \sqrt[4]{2520 \times 335} = 7.87 \times 1.03 = 8.10 \text{ cm}$$

Utilizando un recubrimiento de 2 cm:

$$H = 8.10 \text{ cm} + 2 \text{ cm} = 10.1 \text{ cm}$$

Por lo tanto se considerara  $H = 10 \text{ cm}$  y  $d = 8 \text{ cm}$

$$\text{Si } W_s = 335 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_u = 1.4 W_s = 1.4 \times 335 \text{ Kg/m}^2 = 469 \text{ Kg/m}^2$$

Revisión por flexión del peralte mínimo propuesto

Relación de lado corto a lado largo:

$$m = \frac{a_1}{a_2} = \frac{400}{450} = 0.889 \cong 0.9$$

De la tabla 4.1 de las Normas Técnicas Complementarias de 1996 se obtienen los coeficientes para los momentos máximos positivo y negativo:

$$+K = 158$$

$$-K = 333$$

Por lo tanto los momentos se calcularan de la siguiente forma:

$$M(+)= + K 10^{-4} W_u a_1^2 = 158 (1 \times 10^{-4}) (469) (4.0^2) = 118.5632 \text{ Kg - m}$$

$$M(-)= - K 10^{-4} W_u a_1^2 = 333 (1 \times 10^{-4}) (469) (4.0^2) = 249.8832 \text{ Kg - m}$$

$$Mu(+)= 11856.32 \text{ Kg - cm}$$

$$Mu(-)= 24988.32 \text{ Kg - cm}$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 Mu}{FR b d^2 f''c}} \quad Y \quad \rho = q \frac{f''c}{f_y}$$

Aplicando las formulas :

$$q(+)= 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11856.32}{0.9 \times 100 \times 8^2 \times 170}} = 0.0121$$

$$\rho(+)= 0.0121 \frac{170}{4200} = 0.00049$$

$$\rho(+)< \rho_{\min} \therefore \text{Se empleara } \rho_{\min} = 0.00264$$

$$q(-) = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 24988.32}{0.9 \times 100 \times 8^2 \times 170}} = 0.0258$$

$$\rho(-) = 0.0258 \frac{170}{4200} = 0.00104$$

$\rho(-) < \rho_{\min} \therefore$  Se empleara  $\rho_{\min}$

$$A_s(+) = \rho_{\min} b d = 0.00264 \times 100 \times 8 = 2.11 \text{ cm}^2$$

$$A_s(-) = \rho_{\min} b d = 0.00264 \times 100 \times 8 = 2.11 \text{ cm}^2$$

Calculo de la separacion utilizando varillas del no. 3

$$S = \frac{100 \times a_s}{A_s} = \frac{100 \times 0.71}{2.112} = 33.62 \text{ cm}$$

Por lo tanto se emplearan varillas del numero tres a cada 30 cm en ambos lechos.

Revisión de la resistencia por fuerza cortante

$$V_{CR} = F_R (0.2 + 30 \rho_{\min}) b d \sqrt{f'c}$$

$$V_{CR} = 0.8 (0.2 + 30 (0.00264)) 100 \times 8 \times \sqrt{200} = 2527.03 \text{ Kg}$$

$$V_u = \frac{\left(\frac{a1}{2-d}\right) W_u}{1 + \left(\frac{a1}{a2}\right)^6} = \frac{\left(\frac{4.0}{2-0.08}\right) 469}{1 + \left(\frac{4.0}{4.5}\right)^6} = 654.32 \text{ Kg}$$

$V_u < V_{CR} \therefore$  Se acepta por fuerza cortante el peralte propuesto

Revisión por deflexion

$$\Delta_{\max} = \frac{W_u \times L^4}{384 \times E \times I}$$

$$W_u = 469 \text{ Kg/m}^2 \times 4.0 \text{ m} = 1876 \text{ Kg/m} = 18.76 \text{ Kg/cm}$$

$$E = 14000 \sqrt{f'c} = 14000 \sqrt{250} = 221359.44 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{100 \times 10^3}{12} = 8333.33 \text{ cm}^4$$

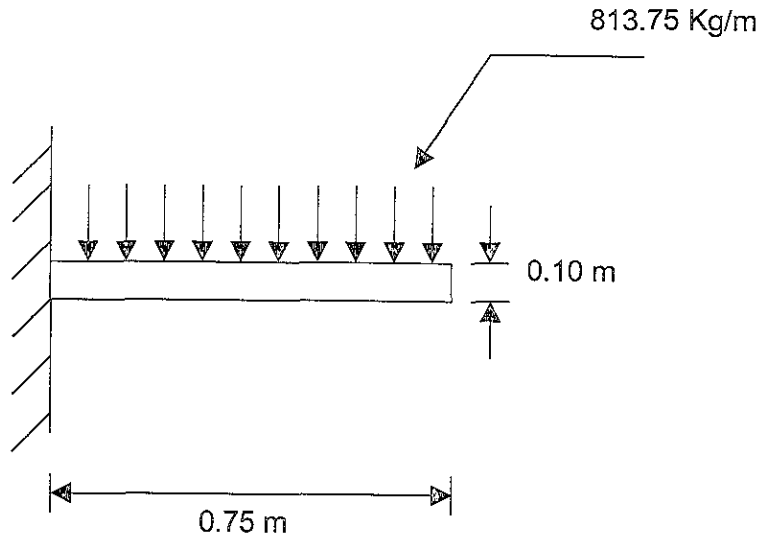
$$\Delta_{\max} = \frac{18.76 \times 400^4}{384 \times 221359.44 \times 8333.33} = 0.68 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{permisible}} = \frac{L}{240} + 0.5 = 2.17 \text{ cm}$$

$\Delta_{\max} < \Delta_{\text{permisible}} \therefore$  pasa por deflexion

## Diseño de la losa de entrepiso (Colada monolíticamente a sus apoyos)

Para el diseño de la losa de entrepiso se considerara como una viga empotrada en un extremo y libre en el otro con carga uniformemente distribuida. Se propone un espesor de losa de 10 cm y un ancho unitario de 100 cm.



$W_s = \text{Carga Muerta} + \text{Carga Viva Maxima}$

$$W_s = 275 \text{ Kg/m}^2 + 500 \text{ Kg/m}^2 = 775 \text{ Kg/m}^2$$

$$W_s = 775 \text{ Kg/m}^2 \times 0.75 \text{ m} = 581.25 \text{ Kg/m}$$

$$W_u = 1.4 W_s = 1.4 \times 581.25 = 813.75 \text{ Kg/m}$$

$$V_u = W_u \times L = 813.75 \text{ Kg/m} \times 0.75 \text{ m} = 610.31 \text{ Kg}$$

$$M_u = \frac{W_u \times L^2}{2} = \frac{813.75 \text{ Kg/m} \times 0.75^2 \text{ m}}{2} = 228.87 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Diseño por flexión :

$$q = 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 22887}{0.9 \times 100 \times 8^2 \times 170}} = 0.024$$

$$\rho = 0.024 \frac{170}{4200} = 0.00096 < \rho_{\min} = 0.00264$$

$$A_s = \rho_{\min} \times b \times d = 0.0026 \times 100 \times 8 = 2.112 \text{ cm}^2$$

Calculo de la separacion utilizando varillas del no. 3 :

$$S = \frac{100 \times 0.71}{2.112} = 33.62 \text{ cm}$$

Por lo tanto se emplearan varillas del no. 3 a cada 30 cm



Diseño por flexión de Trabes

| Elemento | Mmax(+) | Mmax(-) | Vmax  | q(+)   | q(-)   | p(+)    | p(-)    | As(+) | As(-) | Armado         |                |
|----------|---------|---------|-------|--------|--------|---------|---------|-------|-------|----------------|----------------|
|          | Kg-cm   | Kg-cm   | Kg    |        |        | %       | %       | cm2   | cm2   | lecho superior | lecho inferior |
| T-1      | 1206000 | 892000  | 7120  | 0.2573 | 0.1825 | 0.0104  | 0.0074  | 9.75  | 6.94  | 2 # 6 + 2 # 6  | 2 # 6 + 1 # 6  |
| T-2      | 2150000 | 884000  | 9110  | 0.2917 | 0.1083 | 0.0118  | 0.0044  | 14.01 | 4.75  | 3 # 6 + 2 # 6  | 2 # 6          |
| T-3      | 1498000 | 527000  | 7750  | 0.1920 | 0.0630 | 0.00777 | 0.00255 | 9.23  | 3.14  | 2 # 6 + 2 # 6  | 2 # 6          |
| T-4      | 1670000 | 1419000 | 8420  | 0.2813 | 0.2324 | 0.0114  | 0.0094  | 12.11 | 9.99  | 3 # 6 + 2 # 5  | 2 # 6 + 2 # 6  |
| T-6      | 2071000 | 766000  | 10820 | 0.2789 | 0.0931 | 0.0113  | 0.0038  | 13.42 | 4.51  | 3 # 6 + 2 # 6  | 2 # 6          |
| T-7      | 5697000 | 3050000 | 31910 | 0.1693 | 0.0867 | 0.0069  | 0.0035  | 21.39 | 10.85 | 3 # 8 + 3 # 6  | 4 # 6          |

| Elemento | Revisión por flexión |             | Revisión por cortante |             | Calculo de la separación Var #3 |        |       |         | Revisión por reflexión |             |             |
|----------|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|---------------------------------|--------|-------|---------|------------------------|-------------|-------------|
|          | MIR                  | Observación | VR                    | Observación | S1                              | S2     | S3    | Aplica  | Def. permisible        | Def. máxima | Observación |
|          | Kg-cm                |             | Kg                    |             | cm                              | cm     | cm    | cm      | cm                     | cm          |             |
| T-1      | 1371621.09           | ok          | 5303.3                | No pasa     | 18.75                           | 98.49  | 54.53 | 20      | 2.38                   | 0.16        | ok          |
| T-2      | 2176456.37           | ok          | 6717.51               | No pasa     | 23.75                           | 94.73  | 54.53 | 20 Y 30 | 3.83                   | 0.45        | ok          |
| T-3      | 1801245.6            | ok          | 6556.29               | No pasa     | 23.75                           | 189.86 | 54.53 | 20 Y 30 | 3.83                   | 0.37        | ok          |
| T-4      | 1713063.3            | ok          | 6010.41               | No pasa     | 21.25                           | 84.15  | 54.53 | 20      | 2.38                   | 0.2         | ok          |
| T-6      | 2200689.84           | ok          | 6717.51               | No pasa     | 23.75                           | 55.24  | 54.53 | 20      | 3.83                   | 0.96        | ok          |
| T-7      | 6290788.53           | ok          | 15078.91              | No pasa     | 38.75                           | 21.97  | 34.08 | 20      | 3.83                   | 0.39        | ok          |

Diseño de columna eje central B intersección ejes 1 y 2

Para ejes 1 y 2 intersección eje B rige (CM + CV + Sismo) x 1.1

| Mz (Ton-m)                    | Py (Ton) | Vx (Ton) |
|-------------------------------|----------|----------|
| Nivel Azotea Mom. inf = -0.29 | 5.249    | 4.043    |
| P.B. Mom. sup. = 22.799       | 5.249    | 4.043    |
| P.B. Mom. inf. = 22.584       | 10.212   | 4.57     |
| N.P.T. Mom. = 61.759          | 10.212   | 4.57     |

Dirección X (Mz) ejes 1 y 2 rige (CM + CV + 0.33 Sismo) x 1.1

| Mz (Ton-m)                      | Py (Ton) | Vx (Ton) |
|---------------------------------|----------|----------|
| Nivel Azotea Mom. inf = -18.456 | 10.28    | 6.051    |
| P.B. Mom. sup. = 23.900         | 10.28    | 6.051    |
| P.B. Mom. inf. = -24.388        | 43.678   | 8.596    |
| N.P.T. Mom. = 22.035            | 43.678   | 8.596    |

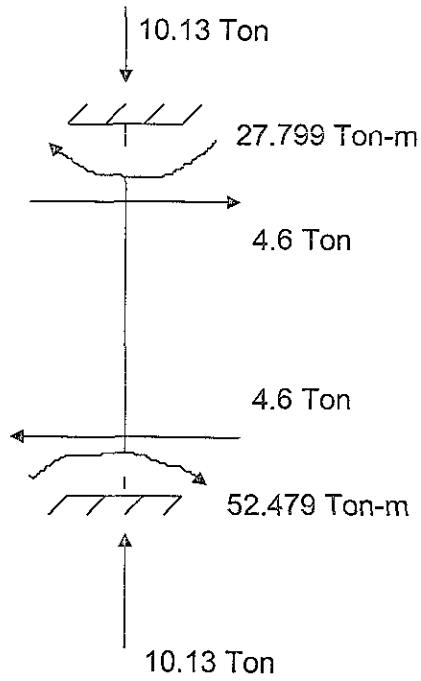
Para eje B rige (CM + CV + Sismo) x 1.1

| Mz (Ton-m)                      | Py (Ton) | Vx (Ton) |
|---------------------------------|----------|----------|
| Nivel Azotea Mom. inf = -32.163 | 13.707   | 9.925    |
| P.B. Mom. sup. = 37.310         | 13.707   | 9.925    |
| P.B. Mom. inf. = -33.433        | 52.706   | 15.375   |
| N.P.T. Mom. = 49.730            | 52.706   | 15.375   |

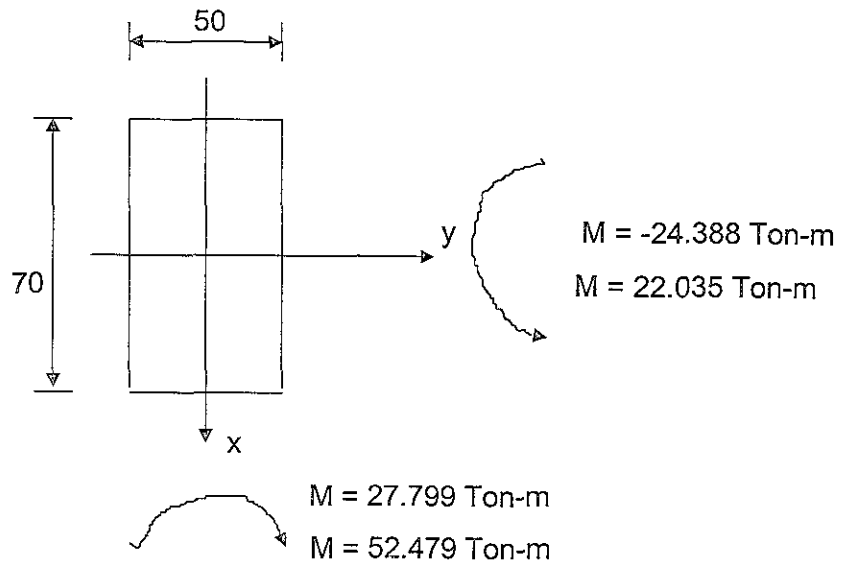
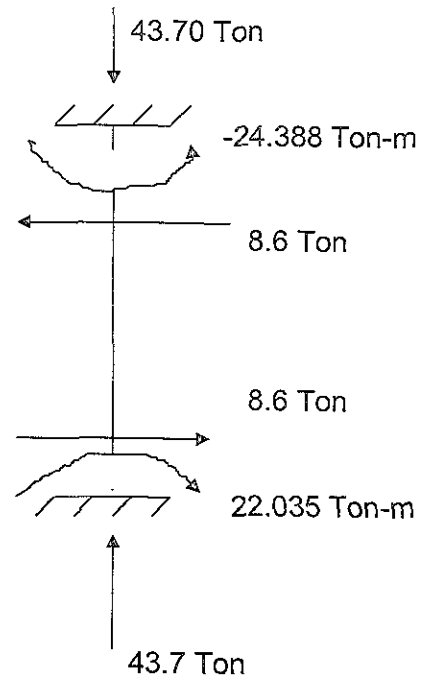
Dirección X (Mz) Eje B rige (CM + CV + 0.33 Sismo) x 1.1 ejes 1 y 2

| Mz (Ton-m)                     | Py (Ton) | Vx (Ton) |
|--------------------------------|----------|----------|
| Nivel Azotea Mom. inf = -0.087 | 5.649    | 1.213    |
| P.B. Mom. sup. = 8.403         | 5.649    | 1.213    |
| P.B. Mom. inf. = 8.34          | 10.60    | 1.37     |
| N.P.T. Mom. = 15.744           | 10.60    | 1.37     |

Ejes 1 y 2 (100% Sismo)



Eje B (30% Sismo)



$$P_{axial} = 52.706 + 10.212 = 62.918 \text{ Ton}$$

$$V = 15.375 + 1.37 = 16.70 \text{ Ton}$$

Se utilizara  $K = 1.3$

Si  $H/r < 22$  se desprecian los efectos de esbeltez

ESTA TESTA NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

$$I_x = \frac{70 \times 50^3}{12} = 729166 \text{ cm}^4 \quad I_y = \frac{50 \times 70^3}{12} = 142916 \text{ cm}^4$$

$$r_x = 20.33$$

$$r_y = 14.4$$

$$\frac{H'}{r_x} = \frac{520 \times 1.3}{20.23} = 33.41 > 22$$

$$\frac{H'}{r_y} = \frac{500 \times 1.3}{14.4} = 45 > 22$$

$$\frac{\Delta_{\text{entrepiso}}}{5.2 \text{ m}} < 0.08 \frac{V_{\text{entrepiso}}}{15.461 \text{ Ton} \times 1.1}$$

$$\frac{3.77 \text{ cm}}{520 \text{ cm}} < 0.08 \times \frac{7.61 \text{ Ton}}{17.007 \text{ Ton}}$$

$$0.00725 < 0.036 \text{ direccion eje B}$$

$$\text{Pero } 45 < 100$$

Factor de amplificación

$$F_a = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{P_c}} \geq 1$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \left( -\frac{27.799}{52.479} \right) = 0.38$$

$$C_m = 0.6 + 0.4 \left( \frac{22.035}{24.358} \right) = 0.96$$

$$P_c = \frac{F_R \pi^2 E I}{H^2} = \frac{0.8 \times \pi^2 \times (221359 \times 729166) \times 0.4 / 140}{676^2}$$

$$P_c = 1115526 \text{ Kg} = 1115.526 \text{ Ton}$$

$$P_u = 53.83 \text{ Ton}$$

$$F_a = \frac{0.96}{1 - \frac{53.83 \text{ Ton}}{1115.526 \text{ Ton}}} = 1.009 \cong 1$$

Diseño por flexión o flexocompresión :

$$\text{Si } P_u \leq \frac{A_g f'_c}{10}; P_u = 13.73 + 50.66 = 64.369 \text{ Ton}$$

$$64.40 \text{ Ton} \leq \frac{70 \times 50 \times 250}{10} = 87.5 \text{ Ton}$$

Requisitos geometricos :

$$A_g > \frac{P_u}{0.5 f'_c} \Rightarrow 3500 > \frac{64400}{0.5 \times 250} \Rightarrow 3500 > 515.2 \therefore \text{cumple}$$

$$\text{Altura libre de columna} = \frac{520}{50} = 10.4 < 15 \therefore \text{cumple}$$

Diseño biaxial :

$$e_y = 0.05 \times 50 = 2.5 \qquad e_y = \frac{52.479 \text{ Ton} \cdot \text{m}}{62.918 \text{ Ton}} = 0.83 \text{ m}$$

$$e_x = 0.05 \times 70 = 3.5 \qquad e_x = \frac{24.388 \text{ Ton} \cdot \text{m}}{62.918 \text{ Ton}} = 0.39 \text{ m}$$

$$M_y = 52.479 \text{ Ton} \cdot \text{m} + (0.035 \text{ m} \times 53.89) = 54.36 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$M_x = 24.388 \text{ Ton} \cdot \text{m} + (0.025 \times 53.89) = 25.74 \text{ Ton} \cdot \text{m}$$

$$P_u = 53.89 \text{ Ton}$$

$$V = 16.7 \text{ Ton}$$

$$d = b - r = 50 - 5 = 45; \quad \frac{d}{b} = \frac{45}{50} = 0.9$$

$$\frac{r}{t} < 0.15 \text{ por ser rectangular}$$

$$\frac{5}{50} = 0.10$$

$$R_y = \frac{M_{uy}}{F_R b^2 h f'c} = \frac{5436000 \text{ Kg} \cdot \text{cm}}{0.80 \times 70 \times 50^2 \times 170} = 0.228$$

$$R_x = \frac{M_{ux}}{F_R b h^2 f'c} = \frac{2574000 \text{ Kg} \cdot \text{cm}}{0.80 \times 50 \times 70^2 \times 170} = 0.077$$

$$K = \frac{62918 \text{ Kg}}{0.8 \times 50 \times 70 \times 170} = 0.1321$$

$$\frac{R_x}{R_y} = \frac{0.077}{0.228} = 0.34$$

$$\frac{d}{b} = 0.9, R_y = 0.228$$

$$\frac{e_y}{h} = \frac{0.83}{0.50} = 1.66; \quad \frac{e_x}{b} = \frac{0.39}{0.70} = 0.55$$

$$\frac{e_x}{b} < \frac{e_y}{h} \therefore \text{cumple}$$

$$q \cong 0.55 = \frac{A_s f_y}{b h f'c} \Rightarrow A_s = \frac{0.55 \times 70 \times 50 \times 170}{4200} = 77.92 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{q f'c}{f_y} = \frac{0.55 \times 170}{4200} = 0.0223$$

$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} \therefore$  se acepta

el armado será : 12 # 8 + 6 # 6

Diseño por cortante:

$$V_u = 16.7 \text{ Ton}$$

$$P_u < 0.7 f_c A_g + 2000 A_s$$

$$62918 < 0.7 \times 200 \times 50 \times 70 + (2000 \times 78.06)$$

$$62918 \text{ Kg} < 646120 \text{ Kg} \therefore \rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{26.02}{3500} = 0.0074$$

$$\rho > 0.01; V_{CR} = F_R b d 0.5 \sqrt{f_c} \times \left( 1 + 0.007 \left( \frac{P_u}{A_g} \right) \right) \alpha$$

$$\text{con } \alpha = 0.7$$

$$V_{CR} = 0.8 \times 50 \times 70 \times 0.5 \sqrt{200} \left( 1 + 0.007 \left( \frac{62918}{3500} \right) \right) 0.7$$

$$V_{CR} = 15602 \text{ Kg}$$

$$V_u < 2 F_R b d \sqrt{f_c}$$

$$V_u = 16700 \text{ Kg} < 2 \times 0.8 \times 50 \times 70 \times \sqrt{200} = 79196 \text{ Kg} \therefore \text{cumple}$$

$$V' = 16700 \text{ Kg} - 15602 \text{ Kg} = 1098 \text{ Kg}$$

Separación entre estribos:

$$S_1 = \frac{0.8 \times 0.71 \times 2 \times 50 \times 4200}{1098} = 217 \text{ cm}$$

$$S_2 = \frac{2 \times 0.8 \times 0.71 \times 4200}{3.5 \times 70} = 19.5 \text{ cm}$$

$$S_3 = 0.5 \times 50 = 25 \text{ cm}$$

$$S_4 = \frac{850}{\sqrt{f_y}} \times 1.91 = 25 \text{ cm}$$

$$S_5 = 48 \times 0.95 = 45.6 \text{ cm}$$

$$S_6 = 0.5 \times 70 = 35 \text{ cm}$$

En los extremos:

$$l_1 = 50 \text{ cm}$$

$$l_2 = \frac{520}{6} = 86 \text{ cm}$$

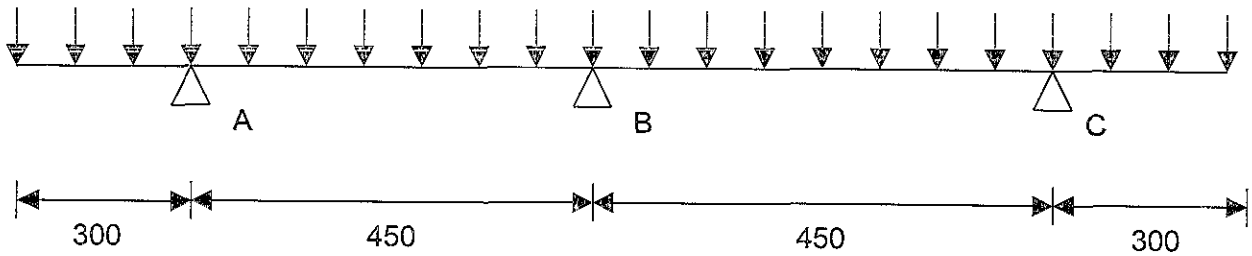
$$l_3 = 60 \text{ cm}$$

se toma la mayor:  $\therefore e \# 3 @ 15$  en  $l = 85 \text{ cm}$

#### 4.5 Diseño de la losa de cimentación

Se propone un peralte de  $h=45$  cm y  $d=40$  cm

$$W_u = 5.20 \text{ Ton/m}$$



$$M_{AyC} = -\frac{5.2 \times 9}{2} = -23.4 \text{ Ton-m}$$

$$M(+)= -\frac{5.2(4.5)^2}{12.8} \left( 36 \left( \frac{3}{4.5} \right)^4 - 28 \left( \frac{3}{4.5} \right)^2 + 9 \right) = 3.02 \text{ Ton-m}$$

$$M_{B(-)} = \frac{wl^2}{8} + \frac{w2a^2}{8} = -13.16 + 11.70 = -1.46 \text{ Ton-m}$$

$$V_B = 5.2 \times 4.5 \left( \frac{5}{8} - \frac{3 \left( \frac{3}{4.5} \right)^2}{4} \right) = 6.825 \text{ Ton}$$

$$V_A = 5.2 \times 4.5 \left( \frac{3 \times \left( \frac{3}{4.5} \right)^2}{4} + \frac{3}{4.5} + \frac{3}{8} \right) = 16.575 \text{ Ton}$$

$$V_{\text{voladizo}} = 15.6 \text{ Ton}$$

$$V_{\text{paño}} = 14.82 \text{ Ton}$$

Diseño por flexión:

| Mu (Kg-cm) | b (cm) | h (cm) | d (cm) | P (%)   | As (cm <sup>2</sup> ) | Armado     |
|------------|--------|--------|--------|---------|-----------------------|------------|
| - 2340000  | 100    | 45     | 40     | 0.0048  | 19.2                  | # 6 @ 15   |
| - 2340000  | 100    | 45     | 40     | 0.0041  | 16.4                  | # 6 @ 17.5 |
| - 146000   | 100    | 45     | 40     | 0.0035  | 14.0                  | # 6 @ 20   |
| + 302000   | 100    | 45     | 40     | 0.00264 | 14.0                  | # 6 @ 20   |

Diseño por cortante :

$$V_u = 16575 \text{ Kg}$$

$$V_{CR} = 0.8 \times 100 \times 40 \times (0.2 + 30(0.0048)) \sqrt{200} = 15568 \text{ Kg}$$

$V_{CR} > V_u$ , ∴ se acepta

$$V_{CR\text{losa}} = 0.5 \times 0.8 \times 100 \times 40 \times \sqrt{200} = 22627 \text{ Kg} > 15370 \text{ Kg} \therefore \text{se acepta}$$

Revisión por deflexión :

$$\Delta_{\text{permisible}} = \frac{300}{240} + 0.5 = 1.75 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{actuante}} = \frac{w L^4}{8 E I} = \frac{42 \times 300^4}{8 \times 221359 \times 759375} = 0.25 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{actuante (largo plazo)}} = 0.25 \times \frac{2}{1 + (50 \times 0.004)} = 0.25 \times 1.67 = 0.42 \text{ cm}$$

$\Delta_{\text{permisible}} > \Delta_{\text{actuante}}$  ∴ se acepta por deflexión

Para sección entre contratraves :

$$\Delta_{\text{permisible}} = \frac{450}{240} + 0.5 = 2.375 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{actuante}} = \frac{42 \times 450 \times 4}{185 \times 221359 \times 759375} = 0.055 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{actuante (largo plazo)}} = 0.055 \text{ cm} \times \frac{2}{1 + (50 \times 0.1048)} = 0.08 \text{ cm}$$

$\Delta_{\text{permisible}} > \Delta_{\text{actuante}}$  ∴ se acepta por deflexión



Diseño por penetración :

$$\frac{d}{2} = \frac{35}{2} = 17.5 \text{ cm}$$

$$W_{\text{relleno}} = (15 \times 14 \times 1.6 - (0.6 \times 0.8) \times 1.6 \times 6) - 5.44 - 6.12 (1.7)$$

$$W_{\text{relleno}} = 543.71 \text{ Ton}$$

$$P_u \text{ columna central} = 62.918 \text{ Ton} + \frac{543.71 \text{ Ton} \times 1.1}{6 \text{ dados}} + \frac{15.42 \text{ Ton} \times 1.1}{6 \text{ dados}} = 165.43 \text{ Ton}$$

$$A_{\text{sección crítica}} = (95 \text{ cm} + 115 \text{ cm}) \times 2 \times 40 = 16800 \text{ cm}^2$$

$$V_u = \frac{165430 \text{ Kg}}{16800 \text{ cm}^2} = 9.85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_{CR} = 0.8 \sqrt{200} = 11.31 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_{CR} > V_u \therefore \text{se acepta}$$

Nota: Los elementos flexionantes los toman las contratraves, por eso  $V_u$  no se incrementa por los momentos flexionantes.

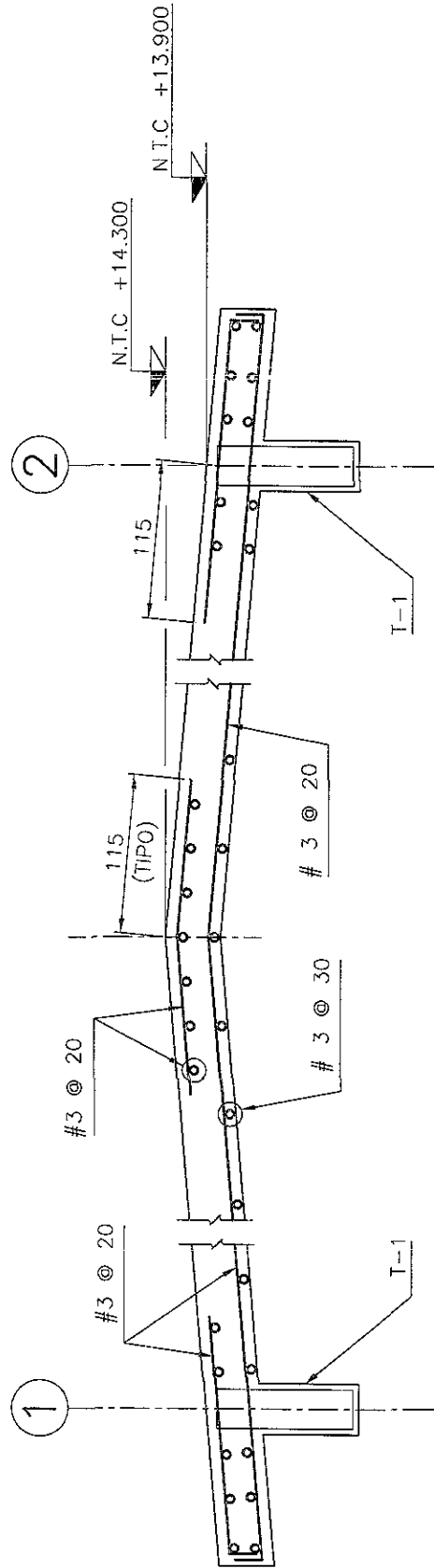
Diseño por flexión de Contratraves

| Elemento | Mmax(+) | Mmax(-)  | Vmax  | q(+)   | q(-)   | p(+)    | p(-)    | As(+)           | As(-)           | Armado         |                |
|----------|---------|----------|-------|--------|--------|---------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
|          | Kg-cm   | Kg-cm    | Kg    |        |        | %       | %       | cm <sup>2</sup> | cm <sup>2</sup> | lecho superior | lecho inferior |
| CT-1     | 2573000 | 4574000  | 50822 | 0.1439 | 0.2752 | 0.00582 | 0.01114 | 12.22           | 23.38           | 2 # 8 + 1 # 6  | 4 # 8 + 1 # 6  |
| CT-2     | 1471000 | 2615000  | 29050 | 0.1384 | 0.2619 | 0.0056  | 0.0106  | 8.4             | 15.9            | 3 # 6          | 3 # 8          |
| CT-3     | 6595000 | 11291000 | 78915 | 0.1828 | 0.3424 | 0.0074  | 0.01386 | 25.31           | 47.43           | 3 # 8 + 2 # 8  | 3 # 8 + 6 # 8  |
| CT-4     | 5628000 | 8093000  | 51725 | 0.1754 | 0.2636 | 0.0071  | 0.01067 | 21.58           | 32.44           | 3 # 8 + 1 # 8  | 4 # 8 + 4 # 6  |

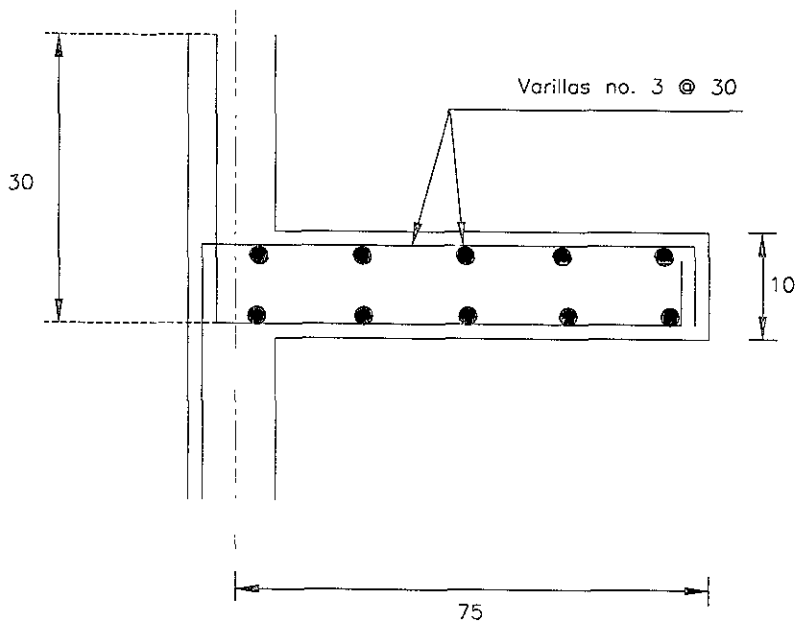
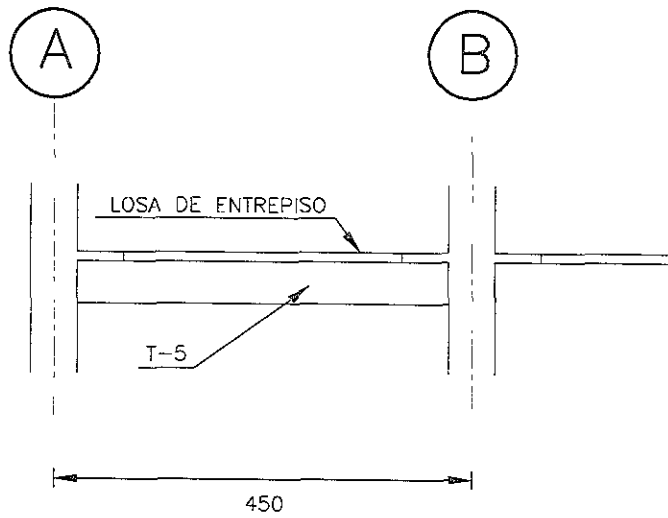
| Elemento | Revisión por flexión |             | Revisión por cortante |             | Calculo de la separación Var #3 |      |       |         | Revisión por reflexión |             |             |
|----------|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|---------------------------------|------|-------|---------|------------------------|-------------|-------------|
|          | MIR                  | Observación | VR                    | Observación | S1                              | S2   | S3    | Aplica  | Def. permisible        | Def. máxima | Observación |
|          | Kg-cm                |             | Kg                    |             | cm                              | cm   | cm    | cm      | cm                     | cm          |             |
| CT-1     | 2819222.9            | ok          | 11897                 | No pasa     | 7.3                             | 38   | 15    | 10 Y 20 | 2.37                   | 0.35        | ok          |
| CT-2     | 1827940.7            | ok          | 8485                  | No pasa     | 11.6                            | 45.4 | 25    | 10 Y 15 | 2.38                   | 0.39        | ok          |
| CT-3     | 6711558.1            | ok          | 13364                 | No pasa     | 5.4                             | 30   | 18.75 | 10 Y 15 | 3.83                   | 0.83        | ok          |
| CT-4     | 5792831.4            | ok          | 11874                 | No pasa     | 8.9                             | 34   | 18.75 | 10 Y 15 | 3.71                   | 0.71        | ok          |

## Anexo 1. Croquis de armado

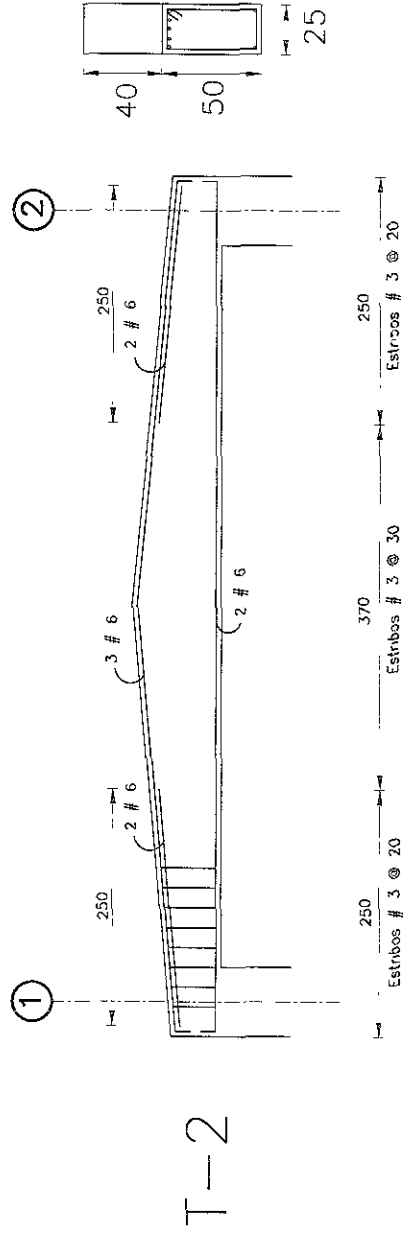
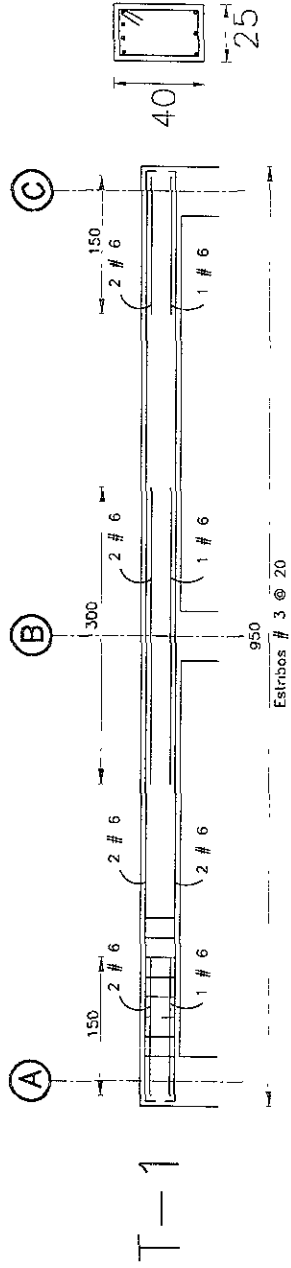
- Losa de cubierta
- Losa de entrepiso
- Trabes T-1, T-2, T-3, T-4, T-5, T-6 Y T-7
- Columna central Eje B
- Losa de cimentación (planta)
- Losa de cimentación (elevación)
- Contratraves

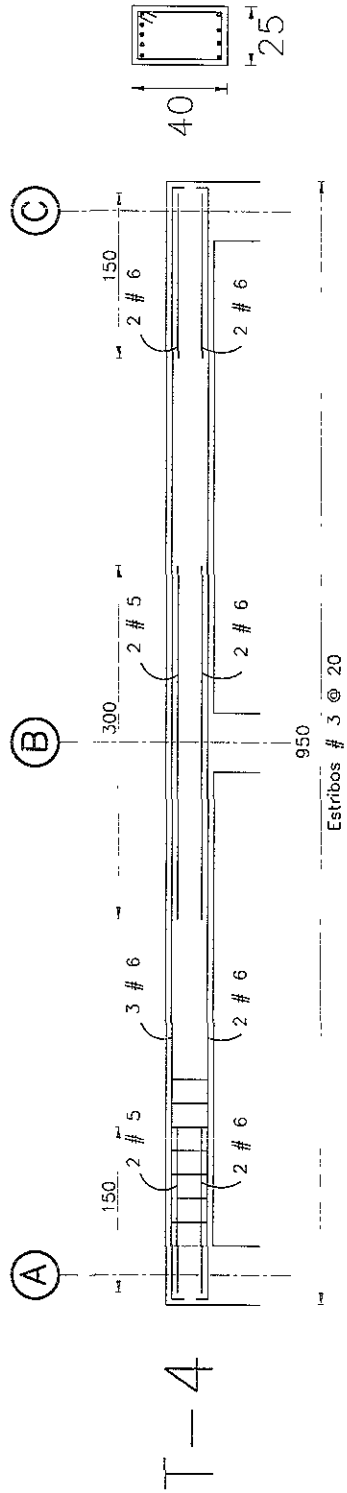
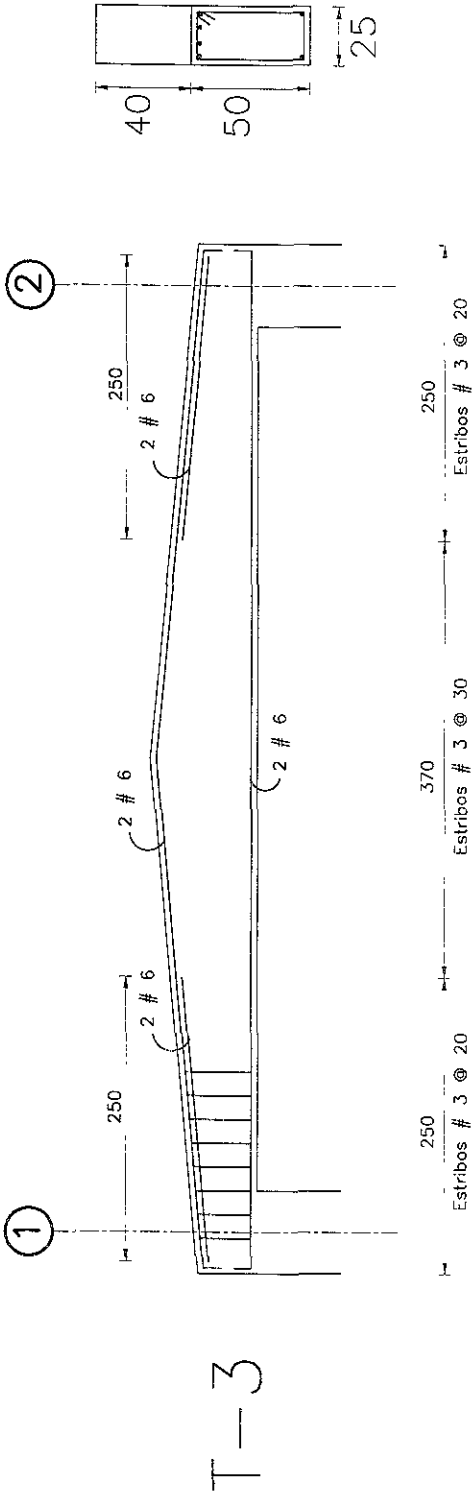


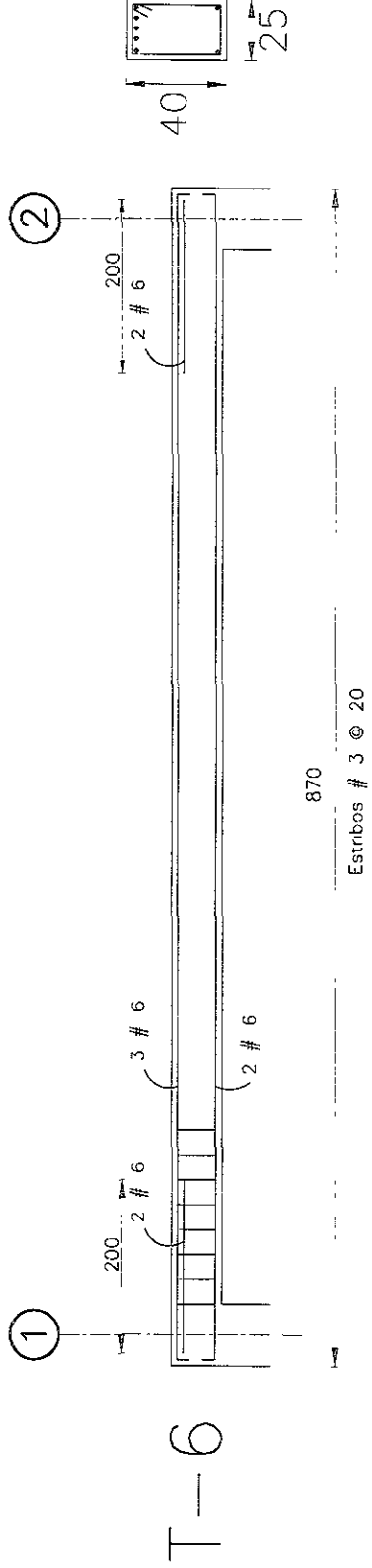
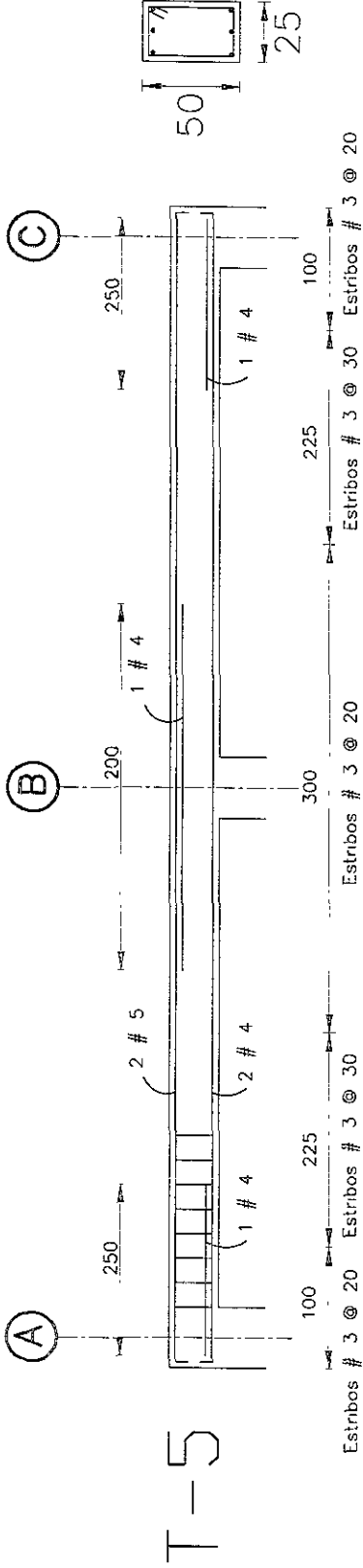
CORTE AZOTEA



# LOSA DE ENTREPISO

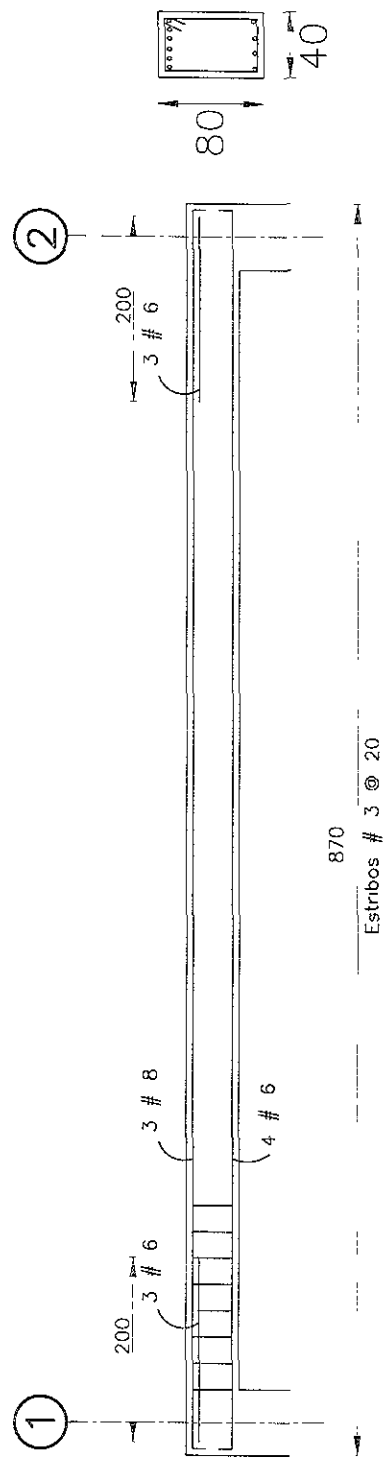


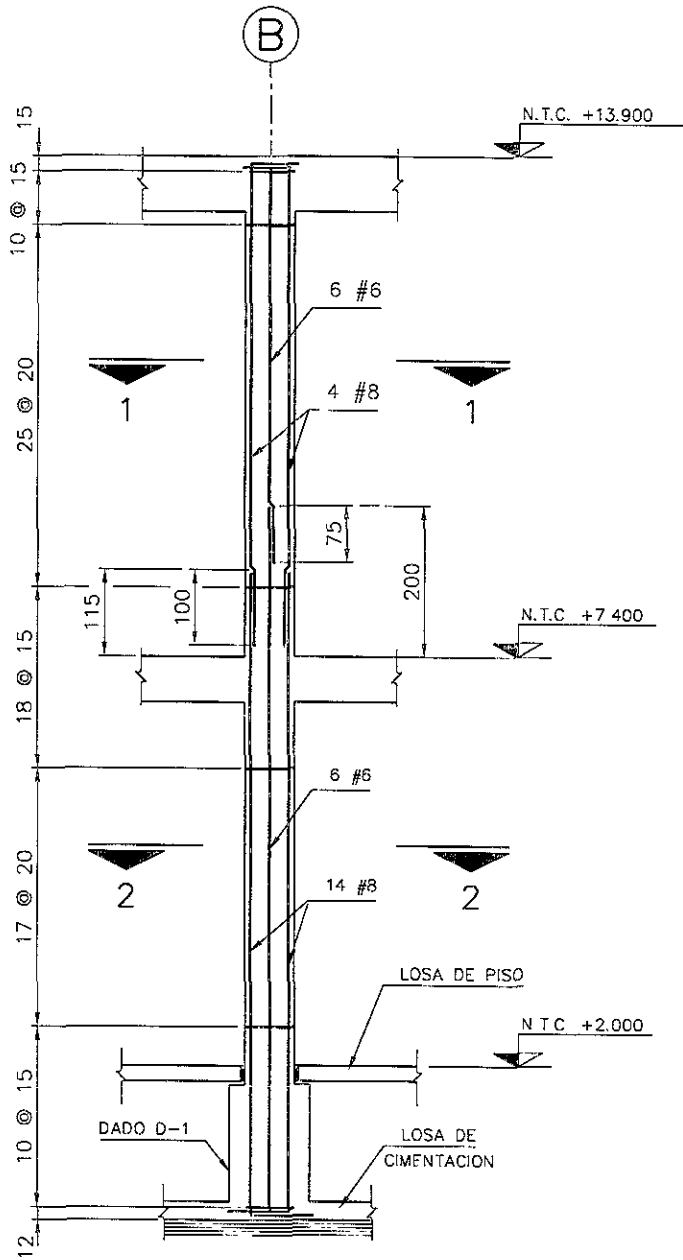




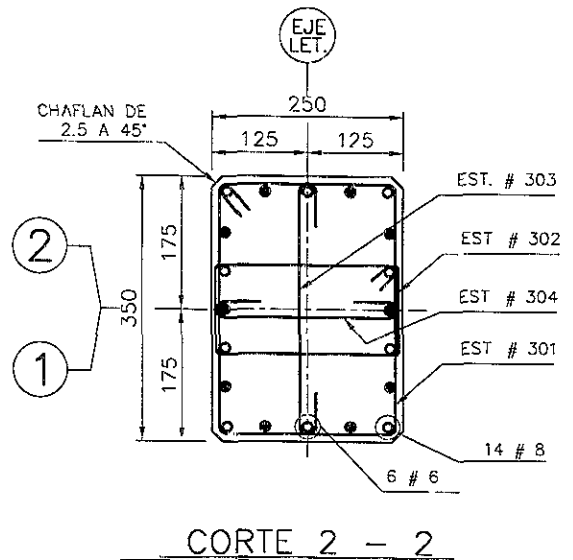
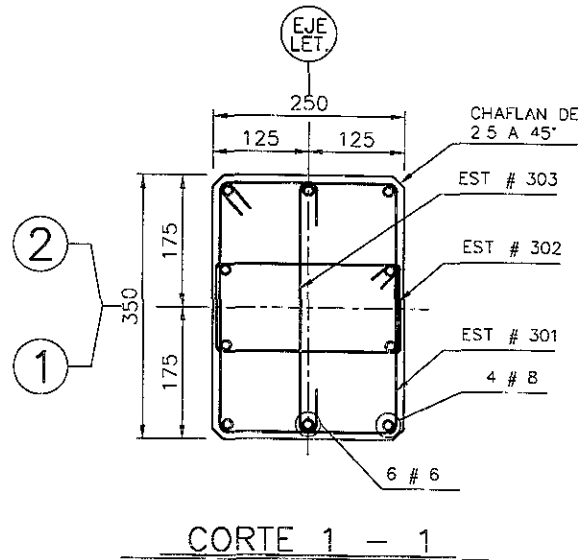


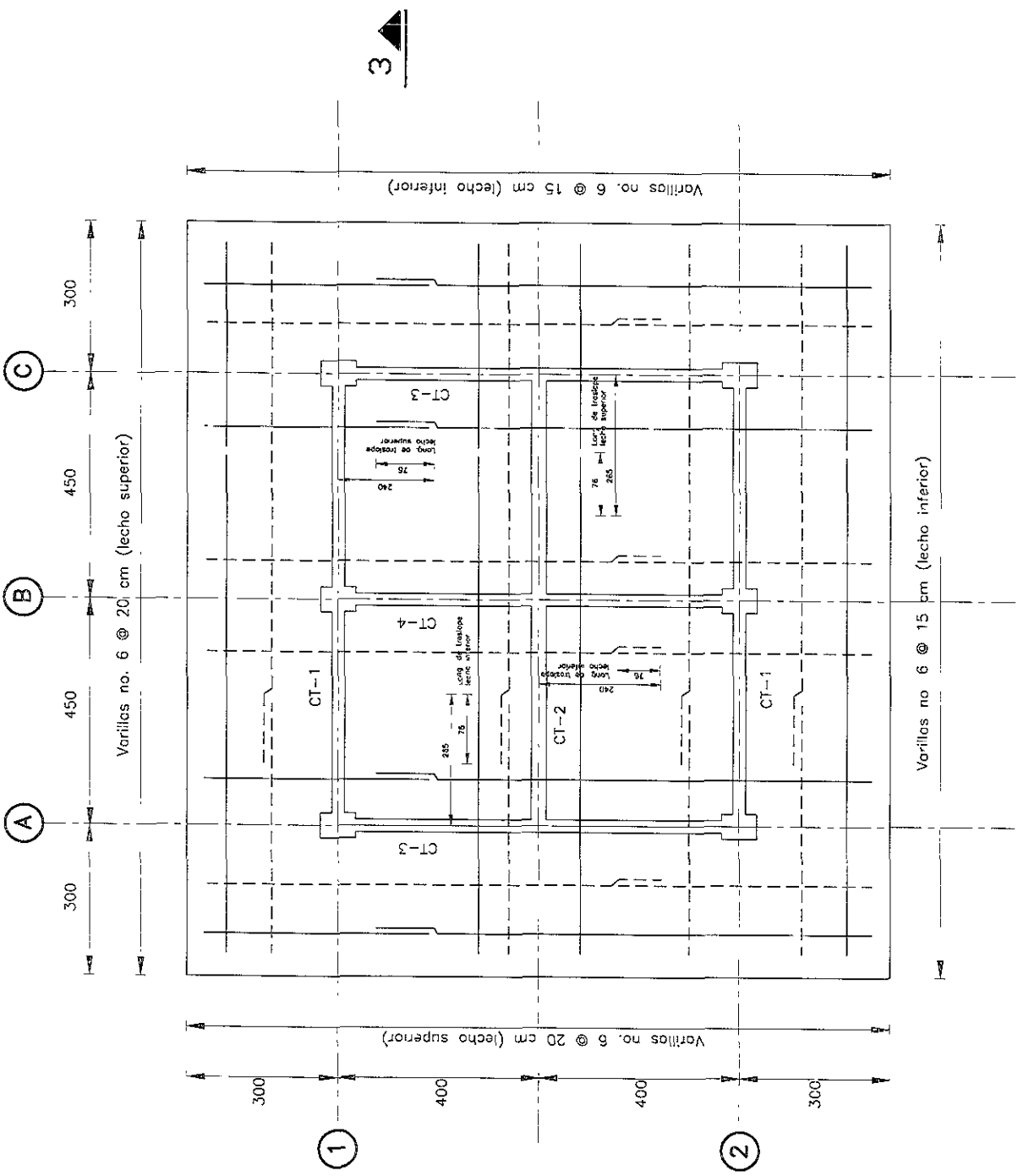
T-7





COLUMNA C-1

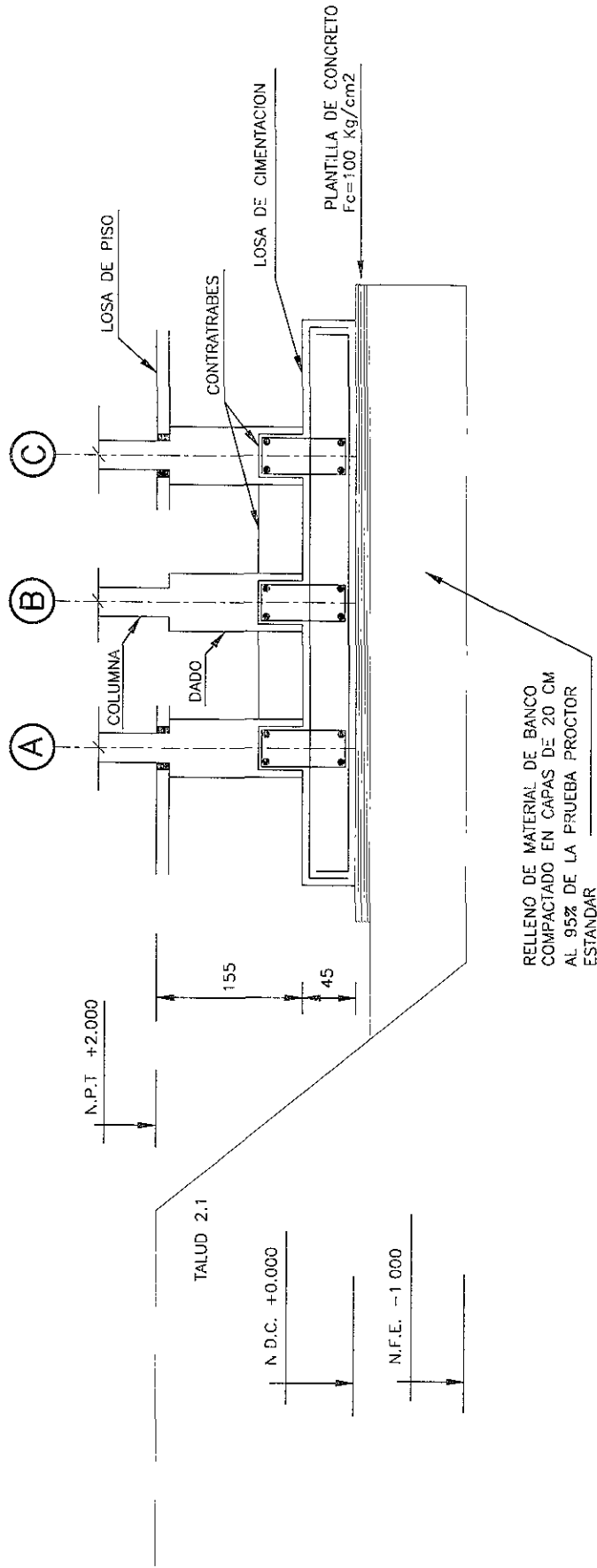




# PLANTA DE CIMENTACION

COTIAS: CM

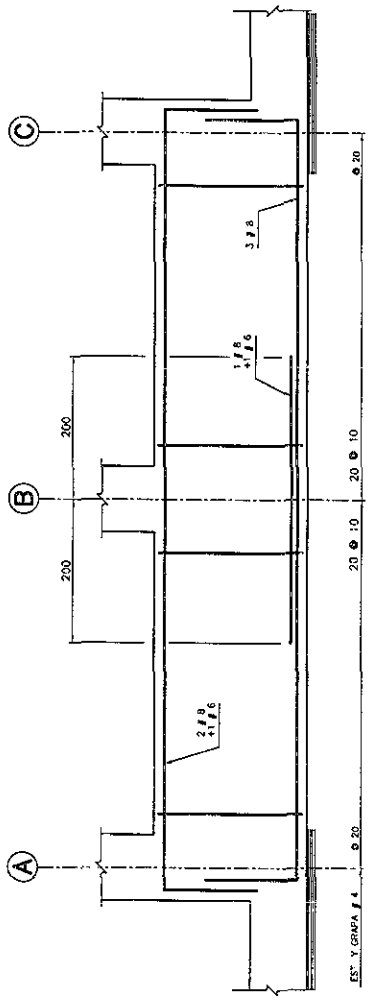
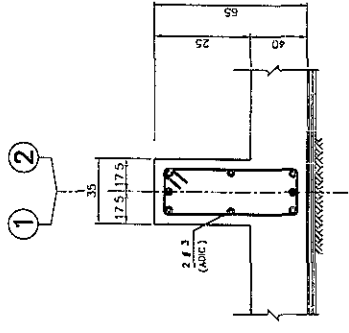
ESC SIN



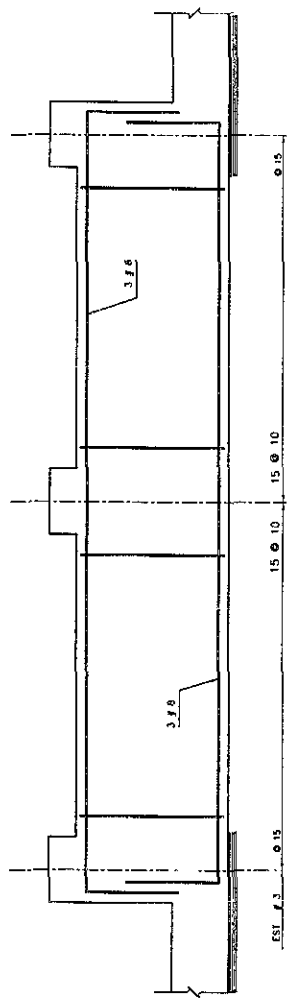
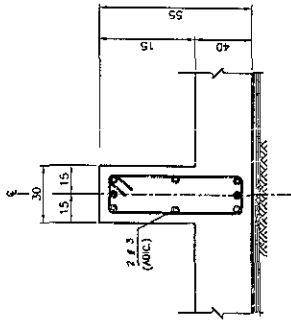
# CORTE 3-3

COTAS: CM ESC. SIN

CT-1



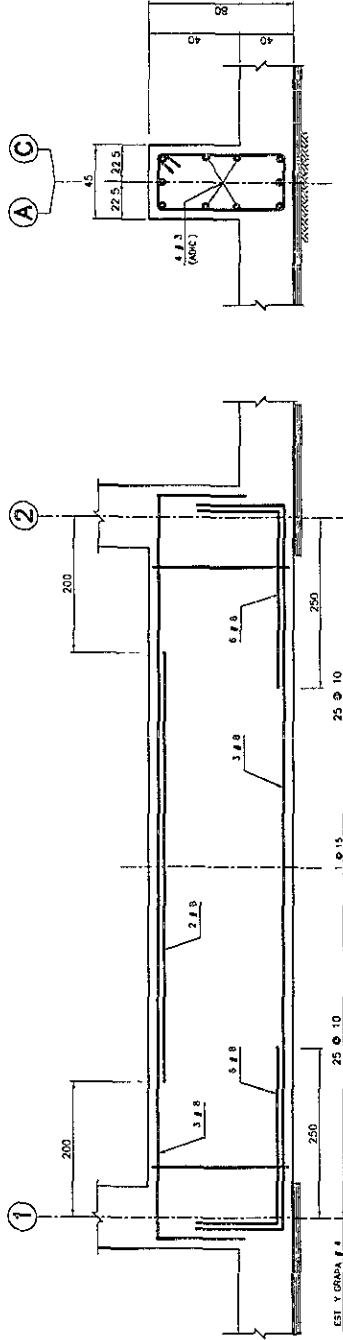
CT-2



CONTRABE EJES 1 Y 2

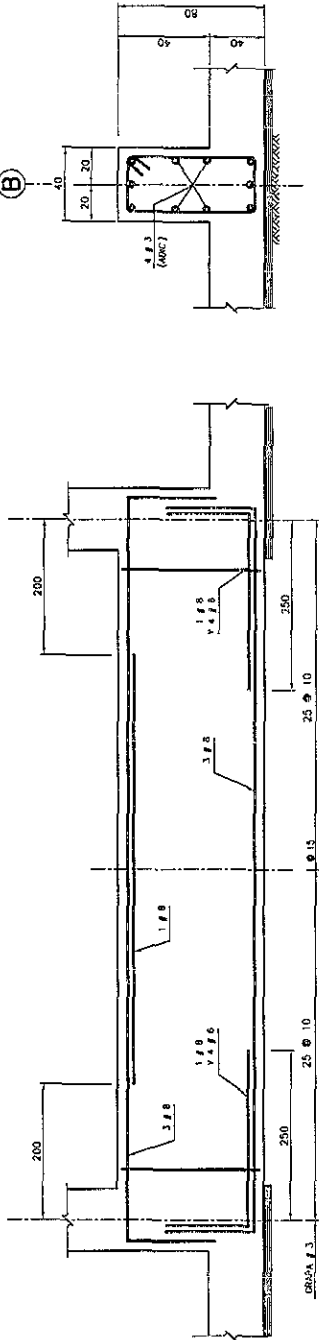
CONTRABE ENTRE EJES 1 Y 2

CT-3



CONTRABASE EJES A Y C

CT-4



CONTRABASE EJE B

## 5. Proceso Constructivo de la Subestación

### 5.1 Procedimiento constructivo

A continuación se presentan los conceptos para desarrollar el procedimiento constructivo de la Subestación para Filtro Prensa, el cual para su descripción se ha convenido dividir en dos etapas de construcción que son Subestructura, que comprende de la cimentación de la estructura hasta el nivel de terreno natural y la Estructura que va desde el terreno natural hasta el nivel de losa de cubierta. Además a cada concepto de obra se le anexa su alcance o trabajos complementarios para la correcta ejecución de la obra. Todos los conceptos y alcances de obra están desarrollados según las normas que aplican actualmente de construcción de estructuras de concreto reforzado de Pemex.

#### 5.1.1 Subestructura

##### 1. Trazo y nivelación (m<sup>2</sup>)

- Acarreo de materiales del almacén del contratista al sitio de la obra.
- Localización de bancos de nivel y puntos de referencia fijados por Pemex.
- Fabricación de puentes o estacas de madera.
- Colocación y nivelación de puentes de madera a partir de las referencias dadas por Pemex con tránsito y nivel.
- Trazo de los ejes de construcción a partir de los puntos de referencia empleando cal.
- Estacado sobre los ejes.

##### 2. Desmontes con maquinaria de pastizales (Hectárea)

- Despeje de la vegetación existente en el área obligada con maquinaria.
- Tala, que consiste en cortar los arboles y arbustos.
- Roza, que consiste en quitar la maleza, marva o zacate.
- Desenraice, que consiste sacar los troncos con raíces o cortando estos.

- Limpia y quema, que consiste en retirar el producto de desmonte al lugar que se indique, estibar y quemar lo no utilizable a criterio de Pemex.
- En el caso de que estas operaciones se efectúen sin equipo, todo se hará con herramienta manual.

### 3. Cortes en terreno natural, en rebaje de corona o terraplenes existentes (m<sup>3</sup>)

- Localización y trazo.
- Determinación o clasificación del material.
- Extracción con tractor de oruga con cuchillas de inclinación marcable de 140 a 160 caballos de potencia en la barra o con la pala mecánica de capacidad mínima de 1 m<sup>3</sup>, sin el uso de explosivos, además se considerara material "B" las piedras menores de ½ m<sup>3</sup> y mayores de 20 cm.
- El equipo de construcción deberá ser previamente autorizado por Pemex. Cuando los cortes se paguen por unidad de obra terminada, no se requiere la autorización antes mencionada.
- Cuando lo indique el proyecto y/o lo ordene Pemex se despalmara el sitio de los cortes desalojando la capa superficial del terreno natural que por sus características no sea adecuada para la construcción de los terraplenes. Los despalmes se ejecutaran solamente en material "A". El material producto del despalme siempre se desperdiciara, colocándolo en el lugar que indique Pemex.

### 4. Despalmes (volumen medido en banco) en material A. Incluye carga a camión (m<sup>3</sup>)

- Suministro de equipo y herramienta necesaria para ejecutar los trabajos.
- Se despalmara (el sitio de los prestamos) cuando así lo fije el proyecto y/o lo ordene Pemex, desalojando la capa superficial del terreno natural que por sus características no sea adecuado para la construcción, los despalmes se ejecutaran solamente en material "A". En la ejecución de los despalmes (salvo cuando los prestamos se paguen por unidad de obra terminada) se observara lo siguiente:
  - a. Las excavaciones ejecutadas en los lugares fijados en el proyecto y/o por Pemex a fin de obtener los materiales para formar los terraplenes no



compensados pueden ser:

- Laterales
- De banco

- b. Se ejecutaran después de que Pemex haya efectuado el seccionamiento de la superficie probable de ataque.
  - c. El contratista será responsable de que durante su ejecución no se alteren ni modifiquen las referencias y bancos de nivel del seccionamiento.
  - d. Una vez despalmados los prestamos, se seccionaran nuevamente antes de ser atacados, dejando las referencias y bancos de nivel a distancias tales del lugar de ataque de trabajo que no vayan a ser destruidas o alteradas.
- El material producto de los despalmes siempre se desperdiciara colocándolo en el lugar que indique Pemex.
  - El equipo de construcción deberá ser previamente autorizado por Pemex. Cuando los precios se paguen por unidad de obra terminada no se requiere la autorización anterior.
  - El precio unitario incluye lo siguiente:
    - a. El despalme (de préstamo) se pagara al precio fijado en el contrato por el metro cubico de material "A" e incluye lo que corresponde por extracción, remoción y carga del material, acarreo libre de 20 m, descarga y deposito del material en los sitios que fije el proyecto y/o ordene Pemex, los tiempos de los vehículos empleados en su transporte durante las cargas y las descargas y abundamiento.
    - b. Los volúmenes de prestamos laterales según sus ubicaciones dentro de las áreas fijadas en el proyecto, se pagaran a los precios autorizados en el contrato para cada área y para el metro cubico de los materiales A, B y C, e incluyendo lo correspondiente por extracción, remoción y carga del material.
5. Excavación en zanja con herramienta manual y/o equipo (volumen medido en banco), material "B", profundidad hasta 2.0 m (m<sup>3</sup>)
- Suministro de equipo y herramienta necesaria para ejecutar el trabajo desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
  - Aflojamiento del material con pico y pala, cuña y marro.

- Extracción y colocación hasta 4.0 m del material producto de la excavación por medio de pala.
- Afine y nivelación del fondo, paredes y taludes.
- Limpieza del área de trabajo.

6. Carga, acarreos y traspaleos con herramienta manual (volumen medido suelto)

Traspaleo hasta 4 m (m<sup>3</sup>)

- Traspaleo libre hasta 4.0 m.

7. Carga, acarreos y traspaleos con herramienta manual (volumen medido suelto)

Carga y acarreo hasta 50 m en carretilla (m<sup>3</sup>)

- Suministro de equipo y herramienta necesaria para ejecutar el trabajo desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Carga a carretilla.
- Acarreo libre hasta 50 m.
- Descarga.
- Regreso al sitio de la carga.

8. Carga, acarreos y traspaleos con herramienta manual (volumen medido suelto)

Carga y acarreo primer Km en camión (m<sup>3</sup>)

- Suministro de equipo y herramienta necesaria para ejecutar el trabajo desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Carga a camión con herramienta manual. Incluye tiempos muertos del camión en la carga.
- Acarreo libre a 1 Km en camión de volteo.
- Descarga.
- Regreso al sitio de la carga.

9. Carga, acarreos y traspaleos con herramienta manual (volumen medido suelto)

Acarreo kilómetros subsecuentes al primero (m<sup>3</sup>)

- A tiempo de camión de volteo de 7 m<sup>3</sup> durante el acarreo de los materiales en kilómetros subsecuentes al primero.

#### 10. Bombeo de achique

- Suministro de equipo y herramienta necesaria para ejecutar los trabajos desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.

#### 11. Cimbrados en reglas y fronteras (plantilla de cimentación) (m<sup>2</sup>)

- Suministro, selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales desde el almacén del contratista, hasta el lugar del trabajo, distancia de hasta 1 Km.
- Suministro de herramienta.
- Trazo de la madera para cimbra.
- Corte y habilitado de la madera.
- Armado de la madera para fabricar la forma a vaciar o armado directo en el lugar según sea el caso.
- Manejo, colocación, alineación y nivelación en el sitio de trabajo, incluyendo pasarelas y rampas.
- Apuntalamiento o ensamble, incluyendo puntales o separadores para soporte y rigidez.
- Colocación de obra falsa y contraventeo.
- Lubricación de la cimbra usando diesel.
- Recuperación de la cimbra después del uso.
- Rehabilitado de la cimbra.
- Carga, acarreo, descarga y estiba para volver a usar.

#### 12. Elaboración de concreto hidráulico, agregado máximo 19 mm, cemento normal f'c = 100 Kg/cm<sup>2</sup> (m<sup>3</sup>)

- Suministro de cemento, arena, grava y agua desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Suministro del equipo y herramienta.
- Dosificación.

- Carga de agregados y agua para revoladora.
- Mezclado en revoladora.
- Obtención de muestras para los cilindros de prueba.
- Limpieza del equipo y área de trabajo.

13. Vaciados con botes o carretillas, acarreo hasta 50 m en:  
plantillas y firmes con espesor de 5 cm (m<sup>2</sup>)

- Suministro de herramienta.
- Limpieza del lugar donde se colocara el concreto, retirando piedras, madera, etc.
- Humedecer el terreno.
- Carga en botes y/o carretillas en el sitio donde se fabrica el concreto.
- Acarreo libre hasta 50 m en forma manual, utilizando botes y/o carretillas.
- Vaciado del concreto en el sitio indicado del concreto.
- Extendido, nivelado y apisonado del concreto utilizando palas para el extendido, reglas de madera para nivelado y pisón de madera para el apisonado.
- Limpieza del área de trabajo.

14. Cimbrados en losa de cimentación, dados y contratrabes (m<sup>2</sup>)

- Suministro, selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales desde el almacén del contratista, hasta el lugar del trabajo, distancia de hasta 1 Km.
- Suministro de herramienta.
- Trazo de la madera para cimbra.
- Corte y habilitado de la madera.
- Armado de la madera para fabricar la forma a vaciar o armado directo en el lugar según sea el caso.
- Manejo, colocación, alineación y nivelación en el sitio de trabajo, incluyendo pasarelas y rampas.
- Apuntalamiento o ensamble, incluyendo puntales o separadores para soporte y rigidez.
- Colocación de obra falsa y contraventeo.
- Lubricación de la cimbra usando diesel.
- Recuperación de la cimbra después del uso.

- Rehabilitado de la cimbra.
- Carga, acarreo, descarga y estiba para volver a usar.

15. Habilitado y colocación de acero de refuerzo en:

losa de cimentación, dados y contratrabes (Tonelada)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  8 mm (Num. 2.5)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  10 mm (Num. 3)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  13 mm (Num. 4)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  16 mm (Num. 5)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  19 mm (Num. 6)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  25 mm (Num. 8)

- Suministro del acero de refuerzo y alambre recocido para amarres.
- Suministro y equipo de herramienta.
- Selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales desde el almacén del contratista al lugar de trabajo.
- Maniobras locales.
- Limpieza del acero de refuerzo para eliminar tierra adherida, grasa, aceite, costras de óxido, etc.
- Enderezado.
- Trazo.
- Corte, utilizando cortadora de varilla de acero de operación manual.
- Habilitado de la varilla, incluyendo ganchos.
- Armado de una pieza de acuerdo a especificaciones y proyecto (utilizando alambre recocido para amarres).
- Manejo, presentación, colocación en su sitio y calzando la pieza.
- Limpieza del área.

16. Elaboración de concreto hidráulico, agregado máximo 19 mm, cemento normal

$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$  ( $\text{m}^3$ )

- Suministro de cemento, arena, grava y agua desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Suministro del equipo y herramienta.

- Dosificación.
- Carga de agregados y agua para revolvedora.
- Mezclado en revolvedora.
- Obtención de muestras para los cilindros de prueba.
- Limpieza del equipo y área de trabajo.

17. Juntas de construcción de celotex impregnado con asfalto num. 12 (m)

- Suministro de herramienta y materiales necesarios para ejecutar los trabajos desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Preparación y limpieza del lugar de colocación de la junta.
- Trazo y corte de celotex.
- Calentamiento de asfalto a la temperatura indicada e impregnación de la tira de celotex.
- Colocación de la tira de celotex ya impregnada de asfalto en el sitio indicado.
- Terminado y limpieza de la superficie.

18. Vaciados con botes o carretilla, acarreo hasta 50 m en:  
losa de cimentación, dados y contratraves (m<sup>3</sup>)

- Suministro de herramienta.
- Limpieza del lugar donde se colocara el concreto, retirando piedras, madera, etc.
- Humedecer el terreno.
- Carga en botes y/o carretillas en el sitio donde se fabrica el concreto.
- Acarreo libre de hasta 50 m en forma manual, utilizando botes y/o carretillas.
- Vaciado del concreto en el sitio indicado en el proyecto, de acuerdo a alturas y profundidades señaladas.
- Vibrado del concreto.
- Nivelado.
- Curado con membrana aplicada con aspensor y/o brocha.
- Limpieza del área de trabajo.

## 19. Rellenos con herramienta manual compactado al 95% (m<sup>3</sup>)

- Suministro de equipo y herramienta necesaria para ejecutar el trabajo desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Remoción del material usando preferentemente el de la excavación ejecutada previamente, limpio de impurezas (troncos, ramas, basura o materia orgánica).
- Acarreo libre de 4 m horizontales.
- Tendido en capas de 20 cm.
- Incorporación de agua.
- Compactación con pisón manual o equipo vibratorio.
- Prueba de laboratorio para determinar el porcentaje de compactación a los niveles que determine el supervisor de la obra.
- Formación y terminación del relleno.
- Acabado de acuerdo al proyecto.

### 5.1.2 Estructura

#### 1. Habilitado y colocación de acero de refuerzo en:

columnas (Tonelada)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  8 mm (Num. 2.5)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  10 mm (Num. 3)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  13 mm (Num. 4)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  16 mm (Num. 5)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  19 mm (Num. 6)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  25 mm (Num. 8)

- Suministro del acero de refuerzo y alambre recocido para amarres.
- Suministro y equipo de herramienta.
- Selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales desde el almacén del contratista al lugar de trabajo.
- Maniobras locales.
- Limpieza del acero de refuerzo para eliminar tierra adherida, grasa, aceite, costras de óxido, etc.
- Enderezado.

- Trazo.
- Corte, utilizando cortadora de varilla de acero de operación manual.
- Habilitado de la varilla, incluyendo ganchos.
- Armado de una pieza de acuerdo a especificaciones y proyecto (utilizando alambre recocido para amarres).
- Manejo, presentación, colocación en su sitio y calzando la pieza.
- Limpieza del área.

## 2. Cimbrados en columnas (m<sup>2</sup>)

- Suministro, selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales desde el almacén del contratista, hasta el lugar del trabajo, distancia de hasta 1 Km.
- Suministro de herramienta.
- Trazo de la madera para cimbra.
- Corte y habilitado de la madera.
- Armado de la madera para fabricar la forma a vaciar o armado directo en el lugar según sea el caso.
- Manejo, colocación, alineación y nivelación en el sitio de trabajo, incluyendo pasarelas y rampas.
- Apuntalamiento o ensamble, incluyendo puntales o separadores para soporte y rigidez.
- Colocación de obra falsa y contraventeo.
- Lubricación de la cimbra usando diesel.
- Recuperación de la cimbra después del uso.
- Rehabilitado de la cimbra.
- Carga, acarreo, descarga y estiba para volver a usar.

## 3. Elaboración de concreto hidráulico, agregado máximo 19 mm, cemento normal

$$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (m}^3\text{)}$$

- Suministro de cemento, arena, grava y agua desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Suministro del equipo y herramienta.
- Dosificación.



- Carga de agregados y agua para revolvedora.
- Mezclado en revolvedora.
- Obtención de muestras para los cilindros de prueba.
- Limpieza del equipo y área de trabajo.

#### 4. Vaciados en columnas (m<sup>3</sup>)

- Suministro de herramienta.
- Preparación del lugar donde se colocara el concreto, retirando piedras, madera, etc.
- Instalación en el área de vaciado de un malacate estacionario para facilitar la maniobra.
- Carga con botes y/o carretillas en el sitio donde se fabricara el concreto.
- Acarreo libre de hasta 50 m en forma manual utilizando botes, carretillas y/o bogues.
- Elevación del concreto con malacate a la altura indicada.
- Vaciado del concreto en el sitio indicado en el proyecto.
- Extendido, vibrado, nivelado, usando palas para el extendido y vibrador de chicote para el vibrado.
- Curado con membrana utilizando aspersor y/o brocha.
- Desmantelamiento del malacate.
- Limpieza del área de trabajo.

#### 5. Cimbrado de losas, trabes y escalera (m<sup>2</sup>)

- Suministro, selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales desde el almacén del contratista, hasta el lugar del trabajo, distancia de hasta 1 Km.
- Suministro de herramienta.
- Trazo de la madera para cimbra.
- Corte y habilitado de la madera.
- Armado de la madera para fabricar la forma a vaciar o armado directo en el lugar según sea el caso.
- Manejo, colocación, alineación y nivelación en el sitio de trabajo, incluyendo pasarelas y rampas.

- Apuntalamiento o ensamble, incluyendo puntales o separadores para soporte y rigidez.
- Colocación de obra falsa y contraventeo.
- Lubricación de la cimbra usando diesel.
- Recuperación de la cimbra después del uso.
- Rehabilitado de la cimbra.
- Carga, acarreo, descarga y estiba para volver a usar.

6. Habilitado y colocación de acero de refuerzo en:

losas, trabes y escalera (Tonelada)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  8 mm (Num. 2.5)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  10 mm (Num. 3)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  13 mm (Num. 4)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  16 mm (Num. 5)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  19 mm (Num. 6)

Acero  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  25 mm (Num. 8)

- Suministro del acero de refuerzo y alambre recocido para amarres.
- Suministro y equipo de herramienta.
- Selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales desde el almacén del contratista al lugar de trabajo.
- Maniobras locales.
- Limpieza del acero de refuerzo para eliminar tierra adherida, grasa, aceite, costras de oxido, etc.
- Enderezado.
- Trazo.
- Corte, utilizando cortadora de varilla de acero de operación manual.
- Habilitado de la varilla, incluyendo ganchos.
- Armado de una pieza de acuerdo a especificaciones y proyecto (utilizando alambre recocido para amarres).
- Manejo, presentación, colocación en su sitio y calzando la pieza.
- Limpieza del área.

7. Elaboración de concreto hidráulico, agregado máximo 19 mm, cemento normal  
 $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (m}^3\text{)}$

- Suministro de cemento, arena, grava y agua desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Suministro del equipo y herramienta.
- Dosificación.
- Carga de agregados y agua para revolvedora.
- Mezclado en revolvedora.
- Obtención de muestras para los cilindros de prueba.
- Limpieza del equipo y área de trabajo.

8. Juntas de construcción de celotex impregnado con asfalto num. 12 (m)

- Suministro de herramienta y materiales necesarios para ejecutar los trabajos desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Preparación y limpieza del lugar de colocación de la junta.
- Trazo y corte de celotex.
- Calentamiento de asfalto a la temperatura indicada e impregnación de la tira de celotex.
- Colocación de la tira de celotex ya impregnada de asfalto en el sitio indicado.
- Terminado y limpieza de la superficie.

9. Vaciados en losas, trabes y escalera (m<sup>3</sup>)

- Suministro de herramienta.
- Preparación del lugar donde se colocara el concreto, retirando piedras, madera, etc.
- Instalación en el área de vaciado de un malacate estacionario para facilitar la maniobra.
- Carga con botes y/o carretillas en el sitio donde se fabricara el concreto.
- Acarreo libre de hasta 50 m en forma manual utilizando botes, carretillas y/o bogues.
- Elevación del concreto con malacate a la altura indicada.

- Vaciado del concreto en el sitio indicado en el proyecto.
- Extendido, vibrado, nivelado, usando palas para el extendido y vibrador de chicote para el vibrado.
- Curado con membrana utilizando aspersor y/o brocha.
- Desmantelamiento del malacate.
- Limpieza del área de trabajo.

10. Fabricación de pernos de anclaje según especificaciones del IMP (pieza)

- Suministro, carga, acarreo, descarga y estiba de material y equipo del almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Trazo, corte, roscado, rectificando de cuerdas y dobleces en el perno, con cortadora eléctrica de varilla o torno eléctrico en su caso.
- Trazo y corte de tubo para camisa en su caso.
- Trazo y corte de placa, en su caso, con equipo de oxiacetileno.
- Suministro y fabricación de embudo o camisa de lamina.
- Suministro de tuercas y rondanas.
- Armado de la pieza completa con soldadura de 200 amp. de gasolina.

11. Fabricación de estructura metálica (barandal) incluye todos los herrajes necesarios (Tonelada)

- Suministro de los materiales.
- Selección, carga, transporte, descarga y estiba en el taller de fabricación.
- Trazo.
- Corte, utilizando equipo de oxiacetileno.
- Enderezado en frío del perfil, en su caso.
- Manejo, presentación, alineación, nivelación y punteo del perfil hasta formar la estructura.
- Barrenado de los perfiles cuando la estructura sea combinada con remaches, tornillos o pernos.
- Soldadura de los elementos que forman la estructura.
- Limpieza del área de trabajo.

## 12. Montaje de estructura metálica hasta una altura de 20 m (Tonelada)

- Carga, acarreo, descarga y estiba hasta el sitio de montaje, distancia aproximada 10 Km.
- Preparación de la maniobra.
- Colocación de andadores y/o obra falsa.
- Manejo, presentación, alineación, nivelación, plomeo y fijación por medio de tornillos o soldaduras.
- Ajustes necesarios.
- Resanado con primario anticorrosivo para herrería.
- Transporte de personal.

## 13. Limpieza manual de superficies metálicas (barandal) (m<sup>2</sup>)

- Habilitado de los solventes y materiales de consumo proporcionados por el contratista.
- Colocación de andamios.
- Limpieza manual de la superficie de acuerdo a las normas de Pemex.
- Retiro de andamios y limpieza del área.

## 14. Recubrimientos primarios en superficies metálicas (barandal) (m<sup>2</sup>)

- Selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales a usar al pie de la obra.
- Preparación, habilitado y colocación de andamios en el sitio de trabajo.
- Limpieza con trapo para quitar el polvo de la superficie.
- Mezclar y muestrear los productos a aplicarse, maniobra que consiste en mezclar los productos con sus adelgazadores correspondientes para obtener la fluidez necesaria para su aplicación.
- Aplicación manual o por aspersion según el espesor y de acuerdo a la norma, aplicado con accesorios, olla y compresor de 35 m<sup>3</sup>/min, para pintura, lapso para el secado.
- En partes cerradas se utilizara un extractor y un purificador de aire.

- Entrega de los trabajos a la supervisión, la cual ejecutara las pruebas de calidad, según las normas de Pemex.
- Materiales y/o solventes proporcionados por el contratista.
- Limpieza general, retiro de equipo y andamiaje.

#### 15. Impermeabilizaciones en azoteas (m<sup>2</sup>)

- Suministro, selección, carga, acarreo, descarga y estiba de los materiales, equipo y herramientas necesarias desde el almacén del contratista hasta el sitio de trabajo, distancia aproximada 1 Km.
- Maniobras, movimientos y manejos locales.
- Limpieza de la superficie a impermeabilizar.
- Preparación de los productos asfálticos y acabados.
- Preparación de los materiales.
- Aplicación de una capa de sellador e imprimador.
- Aplicación de una capa de revestimiento impermeable integrado con fibra de asbesto.
- Aplicación de una mano de pintura asfáltica de aluminio.
- Reparaciones.
- Limpieza final.

#### 16. Limpieza final en edificaciones (m<sup>2</sup>)

- Suministro de equipo necesario para ejecutar los trabajos desde el almacén del contratista hasta el sitio de la obra.
- Barrer.
- Retiro y estiba de materiales de construcción sobrantes.
- Retiro y apile de escombros disponiendo para carga y acarreo fuera de la obra.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

La Industria Petroquímica es una de las principales contaminantes y de mayor riesgo en el Impacto Ambiental en cuanto a las actividades del país se refiere; ya que la contaminación por los desechos de estas plantas son una actividad común, pero actualmente con las políticas ecológicas y de protección al ambiente ya se regula la operación de dichas plantas, en nuestro caso el Complejo Petroquímico La Cangrejera y por lo tanto se deberá poner especial énfasis en el Estudio de Impacto Ambiental ya que en la actualidad cada vez son mas estrictas las normas y reglamentos para la emisión de contaminantes.

El proyecto de la Subestación para Filtros Prensa surge como resultado de los trabajos de las auditorias ambientales en la Reconversión de la Planta de Tratamiento de Efluentes existente para reducir los contaminantes que contienen los desechos líquidos (drenajes químicos y aceitosos), por tanto será de vital importancia para la correcta ejecución y desempeño del Complejo Petroquímico tener perfectamente identificadas las sustancias peligrosas que pudieran afectar al medio ambiente y/o a las poblaciones aledañas al Complejo, tal es el caso de la Ciudad de Coatzacoalcos y al río del mismo nombre por citar las mas importantes.

Con dichas modificaciones a la actual Planta de Tratamiento de Efluentes se busca cumplir con el objetivo de que la planta opere dentro de los limites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales al cuerpo receptor.

Por tal motivo la Manifestación de Impacto Ambiental por las características de las sustancias con las que se trabaja en la planta deberá ser acompañada de un Estudio o Análisis de Riesgo, donde se definirán perfectamente las sustancias peligrosas con todas sus características que puedan ser peligrosas para el área de influencia donde se encuentra ubicado el Complejo. Se deberán tomar en cuenta tanto los peligros para la flora y la fauna como para la salud humana, logrando con esto la identificación, prevención y mitigación de cualquier actividad riesgosa dentro de la planta que pudiera presentarse al momento de entrar en operación dicha reconversión.

Es importante mencionar que tanto la Manifestación de Impacto Ambiental como el Análisis de Riesgo es una actividad interdisciplinaria, ya que no solo involucra a la Ingeniería Civil si no también a otras ramas de la Ingeniería e inclusive fuera de esta, para hacer mas exacto el análisis del riesgo que implica la operación de esta planta.

En cuanto a la cimentación de la estructura es importante resaltar la pobre capacidad de carga del suelo del sitio de la obra, resultado del Estudio de Mecánica de Suelos; por lo tanto se recomienda cimentar la estructura sobre una losa de concreto reforzado y contratrabes en la parte superior, dicha cimentación estará desplantada a dos metros por debajo del terreno natural, empleando taludes de 2:1 en la excavación.

Para el soporte de la losa de cimentación se realizara un mejoramiento del suelo de un metro de espesor con material de banco compactado al 95% para mejorar las condiciones de carga del suelo, así como también el abatimiento del nivel freático con bomba para realizar los trabajos correspondientes en la cimentación.

Para la erección y colocación de las dos unidades Filtro Prensa, se realizaran preparaciones especiales para los pernos de anclaje en las trabes T-5 y la colocación de un barandal perimetral en la losa de entrepiso (nivel +7.400).



## Bibliografía

- Libro de proyecto "Reconversión de Tratamiento de Efluentes" en el Complejo Petroquímico La Cangrejera  
Petróleos Mexicanos (1993)
- Manual de Análisis de Riesgo  
Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) (1995)
- Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado  
González Cuevas, Robles  
Editorial Limusa (1997)
- Reglamento para Construcciones del Distrito Federal (RCDF)  
(1993)
- Normas Técnicas Complementarias para Concreto Reforzado  
(1996)
- Manual de Diseño de Obras Civiles por Sismo  
Comisión Federal de Electricidad (CFE)