

109
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



EVALUACION DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DEL MUELLE PARA CONTENEDORES DEL PUERTO DE MANZANILLO



TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA
MANUEL SAENZ DE MIERA JUAREZ

MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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
60-1-156/96

Señor
MANUEL SAENZ DE MIERA JUAREZ
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. MARIO RODRIGUEZ RODRIGUEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"EVALUACION DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DEL MUELLE PARA CONTENEDORES DEL
PUERTO DE MANZANILLO"**

- I. INTRODUCCION
- II. DESCRIPCION DEL MUELLE PARA CONTENEDORES DEL PUERTO DE MANZANILLO
- III. COMPORTAMIENTO OBSERVADO DEL MUELLE DURANTE EL SISMO DEL 9 DE OCTUBRE DE 1995
- IV. PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS Y REVISION ESTRUCTURAL
- V. CRITERIOS DE REHABILITACION DEL MUELLE
- VI. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 26 de noviembre de 1996.
EL DIRECTOR.



ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS/GMP*Imf

**A la memoria de mi padre:
con gratitud por todo su apoyo.**

**A mi madre:
con cariño por su comprensión.**

INDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCION. | 1 |
| I DESCRIPCION DEL MUELLE PARA CONTENEDORES DEL PUERTO DE MANZANILLO. | 3 |
| I.1 LOSA DE PISO | 3 |
| I.2 PILOTES | 4 |
| I.3 MATERIALES | 6 |
| II COMPORTAMIENTO OBSERVADO DEL MUELLE DURANTE EL SISMO DEL 9 DE OCTUBRE DE 1995. | 11 |
| II.1 CARACTERISTICAS DEL SISMO | 11 |
| II.2 RESUMEN DE DAÑOS EN LA CIUDAD DE MANZANILLO | 12 |
| II.3 COMPORTAMIENTO DEL MUELLE DURANTE EL SISMO DEL 9 DE OCTUBRE | 13 |
| II.3.1 DESCRIPCION DE DAÑOS EN PILOTES | 14 |
| II.3.1a Pilotes fracturados | 14 |
| II.3.1b Pilotes fisurados | 15 |
| II.3.2 DESCRIPCION DE DAÑOS EN LOSA | 15 |
| II.3.3 DAÑOS EN LOS PATIOS DE CONTENEDORES | 16 |
| II.3.4 CLASIFICACION Y CANTIDAD DE DAÑOS | 17 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| III | PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS Y REVISION ESTRUCTURAL. | 27 |
| III.1 | ACCIONES GRAVITACIONALES | 27 |
| III.2 | ACCIONES SISMICAS | 29 |
| III.3 | CRITERIOS DE REVISION SISMICA | 32 |
| III.4 | CONDICIONES DE CARGA | 33 |
| III.5 | DESCRIPCION DEL MODELO ANALITICO TRIDIMENSIONAL DE ANALISIS | 34 |
| III.5.1 | ANCHO EQUIVALENTE DE LOSA | 35 |
| III.5.2 | PILOTES Y RIGIDECES HORIZONTALES | 36 |
| III.6 | RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS | 37 |
| III.6.1 | ANALISIS DINAMICO | 37 |
| III.6.2 | DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES | 38 |
| III.6.3 | ELEMENTOS MECANICOS | 39 |
| III.7 | REVISION ESTRUCTURAL | 39 |
| III.7.1 | FACTORES DE CARGA | 40 |
| III.7.2 | COMBINACIONES DE CARGA | 40 |
| III.7.3 | COEFICIENTE DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL | 41 |
| III.7.4 | REVISION ESTRUCTURAL DE PILOTES | 42 |
| III.7.5 | REVISION ESTRUCTURAL DE LA LOSA | 43 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| IV | CRITERIOS DE REHABILITACION DEL MUELLE. | 56 |
| IV.1 | REHABILITACION DE LOSA Y PILOTES FRACTURADOS | 56 |
| IV.2 | REHABILITACION DE PILOTES FISURADOS | 59 |
| IV.3 | REHABILITACION DE LA JUNTA DE CONSTRUCCION | 60 |
| V | CONCLUSIONES. | 63 |
| VI | REFERENCIAS. | 66 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Planta del muelle de contenedores de Manzanillo | 7 |
| 1.2 | Planta del módulo típico | 8 |
| 1.3 | Sección transversal | 9 |
| 1.4 | Vistas de los patios de contenedores | 10 |
| 2.1 | Daños en juntas de construcción entre módulos | 18 |
| 2.2 | Daños estructurales típicos en pilotes del muelle | |
| 2.2a | Vista de pilotes con aumentos | 18 |
| 2.2b | Daño estructural típico en pilotes con aumento | 19 |
| 2.3 | Daños estructurales típicos en losa del muelle | |
| 2.3a | Desprendimiento típico del concreto en losa | 19 |
| 2.3b | Remoción de concreto en losa | 20 |
| 2.4 | Daños típicos en patios del muelle | |
| 2.4a | Diferencia de nivel entre muelle de contenedores y patios | 20 |
| 2.4b | Vista de hundimientos en patios del muelle | 21 |
| 2.5 | Localización de daños en módulo I | 22 |
| 2.6 | Localización de daños en módulo II | 23 |
| 2.7 | Localización de daños en módulo III | 24 |
| 2.8 | Localización de daños en módulo IV | 25 |
| 2.9 | Localización de daños en módulo V | 26 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 3.1 | Espectro de diseño (RCMan-93 modificado) | 45 |
| 3.2 | Elevación del modelo del muelle para análisis | 46 |
| 3.3 | Anchos equivalentes típicos | 47 |
| 3.4 | Forma modal 1 | 48 |
| 3.5 | Forma modal 2 | 48 |
| 3.6 | Forma modal 3 | 49 |
| 3.7 | Vista del muelle deformado en sentido longitudinal | 49 |
| 3.8 | Vista del muelle deformado en sentido transversal | 50 |
| 3.9 | Diagrama de momentos flexionantes en marco transversal | 50 |
| 3.10 | Diagrama de momentos flexionantes en marco longitudinal | 51 |
| 3.11 | Diagrama de cortantes en marco transversal | 51 |
| 3.12 | Diagrama de cortantes en marco longitudinal | 52 |
| 3.13 | Diagrama de fuerzas axiales en marco transversal | 52 |
| 3.14 | Diagrama de fuerzas axiales en marco longitudinal | 53 |
| 3.15 | Detalles típicos de refuerzo longitudinal y transversal en pilotes | 53 |
| 3.16 | Valores más críticos del parámetro CSE en pilotes para la condición de diseño por flexo-compresión | 54 |
| 3.17 | Valores más críticos del parámetro CSE en losas para la condición de diseño por cortante | 55 |
| 4.1 | Detalles para la rehabilitación sísmica de pilotes del muelle | 61 |
| 4.2 | Detalle de la reparación de fisuras en pilotes | 62 |

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

Durante el sismo del 9 de octubre de 1995, el muelle de la terminal especializada para contenedores del Puerto de San Pedrito en Manzanillo sufrió daños en algunos de los pilotes de apoyo , así como en la losa sobre la cual se efectúan las operaciones de carga y descarga de contenedores.

Debido a que el puerto de Manzanillo es de suma importancia para el comercio y las comunicaciones de nuestro país, la Administración Portuaria Integral de Manzanillo, S. A. de C. V. (A.P.I.), solicitó a una empresa de consultoría y al Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. la evaluación de la seguridad estructural con el fin de elaborar recomendaciones para la rehabilitación del muelle, para que éste en tiempo corto pueda operar en condiciones normales.

En este trabajo se describen y analizan los estudios efectuados para la evaluación de la seguridad estructural del mencionado muelle.

En el primer capítulo se describen las características geométricas del muelle de la terminal especializada para contenedores, las características de su estructuración, así como las de los materiales que lo componen.

En el segundo capítulo se describe el comportamiento observado del muelle durante el sismo del 9 de octubre de 1995, para lo cual se emplea el levantamiento de daños ocurridos y la clasificación de éstos. Se presentan planos con la ubicación de los daños importantes, así como algunas fotografías de éstos.

En el tercer capítulo se describen los procedimientos efectuados para el análisis y revisión estructural del muelle. Se definen las acciones gravitacionales y sísmicas, se describen el criterio de revisión en la condición de sismo y las combinaciones de carga utilizadas. Se describe el modelo analítico tridimensional empleado para el análisis estructural del muelle así como los resultados de éste. Se cuantifica el nivel de seguridad encontrado en la revisión de los pilotes, así como en la losa de la superficie de rodamiento. También se comentan diversos resultados obtenidos en la revisión estructural y se comparan con el comportamiento observado.

En el cuarto capítulo se describen los criterios empleados para la rehabilitación de pilotes y partes de la losa que resultaron dañados.

I DESCRIPCIÓN DEL MUELLE PARA CONTENEDORES DEL PUERTO DE MANZANILLO

I DESCRIPCION DEL MUELLE PARA CONTENEDORES DEL PUERTO DE MANZANILLO.

El muelle de la terminal especializada para contenedores se encuentra ubicado en el Puerto de San Pedrito, de la ciudad de Manzanillo, Colima. Por la configuración del muelle, éste se clasifica como un atracadero de tipo marginal (malecón). Su longitud total es de 250 metros y se compone de cinco módulos o tramos, con dimensiones en planta de 50 m de largo por 21.6 m de ancho cada uno, separados entre sí por una junta constructiva de 2 cm (figura 1.1).

Para fines de la descripción de la estructura que aquí se efectúa, cada módulo se ha dividido en losa de piso (superficie de rodamiento del muelle) y pilotes (subestructura).

I.1 LOSA DE PISO.

La losa de piso sirve como superficie de rodamiento de las grúas viajeras del muelle de contenedores. La superestructura de cada tramo del muelle consiste en una losa plana de concreto reforzado de 45 cm de espesor, con un firme de concreto de 15 cm de espesor.

En los ejes longitudinales "B" y "H" del muelle (figura 1.2) se ubican los rieles de una grúa portacontenedores (Portainer) de cuatro bases y ocho ruedas por base.

Los rieles se apoyan en unas traveses de concreto reforzado de 120 cm de ancho y 80 cm de peralte que incluyen el espesor de la losa.

En el paramento de atraque (lado de mar) cada módulo tiene una pantalla de concreto de 213 cm de peralte por 50 cm de ancho, cubierta con una defensa de hule industrial. En el paramento posterior (lado de tierra), cada módulo tiene una pantalla de concreto de 180 cm de peralte y 30 cm de ancho.

El nivel de la superficie de rodamiento es +3.50 m, tomado con respecto al N.B.M. (Nivel Bajamar Media), igual a 0.00 (figura 1.3).

1.2 PILOTES.

La subestructura consiste en pilotes de concreto armado de 50 por 50 cm de sección transversal. El refuerzo longitudinal de éstos consiste en ocho varillas de diámetro del No. 8 (2.54 cm) cada uno. Cada módulo tiene 234 pilotes, de los cuales 52 se encuentran hincados verticalmente, 36 inclinados en el sentido longitudinal y 146 en sentido transversal; la pendiente de inclinación de los pilotes es de 1 : 4 (figura 1.3).

En la tabla 1.1 se muestran las cantidades de pilotes y porcentajes de éstos por módulo hincados con orientación vertical o inclinada.

Tabla 1.1 Cantidad de pilotes por módulo.

| PILOTES | CANTIDAD (piezas) | PORCENTAJE (%) |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Verticales | 52 | 22.22 |
| Inclinados en el sentido longitudinal | 36 | 15.38 |
| Inclinados en el sentido transversal | 146 | 62.40 |
| TOTAL | 234 piezas | 100.00 % |

El número total de pilotes en todo el muelle de contenedores es de 1170. Todos los pilotes se encuentran hincados en la capa dura al nivel -20 m, el nivel del fondo marino (nivel de dragado) es -12 m (figura 1.3).

En el lado de tierra se construyó un dique de enrocamiento (pedraplón), que tiene la finalidad de retener los rellenos de los patios para contenedores y confinar lateralmente a los pilotes del lado de tierra. Este dique está formado por piedras mayores de 5 Kg cada una, con una pendiente de 1.5 : 1. La figura 1.4 muestra algunas vistas de los patios de contenedores, en las que se pueden apreciar algunas operaciones de carga o descarga de contenedores con vehículos de izaje (figura 1.4a) o con grúa móvil (figura 1.4b).

I.3 MATERIALES.

Las características de los materiales empleados para la construcción del muelle, las cuales se obtuvieron de los planos originales del proyecto, son las siguientes:

- | | |
|---|------------------------------|
| - Concreto en losa plana y traveses (Cemento tipo II) | $f'c = 200 \text{ Kg/cm}^2$ |
| - Concreto en pilotes (Cemento tipo II) | $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ |
| - Acero de refuerzo | $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ |
| - Acero de refuerzo (estribos en pilotes) | $f_y = 2300 \text{ Kg/cm}^2$ |



PLANTA DEL MUELLE DE CONTENEDORES DE MAI

FIGURA 1.1



SIMBOLOGIA

- INDICA PILOTE DE SONDOS EM DIRECCAO VERTICALMENTE
- INDICA PILOTE DE SONDOS EM DIRECCAO A 45º E 135º EM LA "LIEIRA"
- ACOTACAOES EM CM

DEL MUELLE DE CONTENEDORES DE MANZANILLO

FIGURA 1.1

6

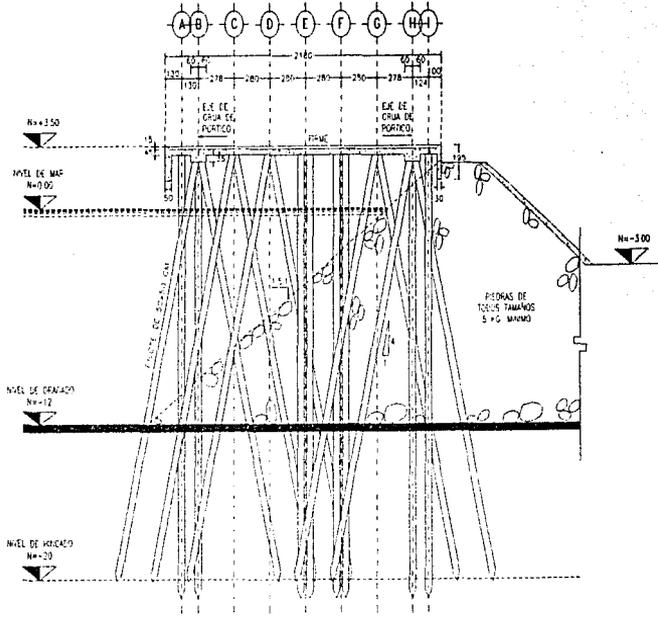


Figura 1.3 Sección transversal

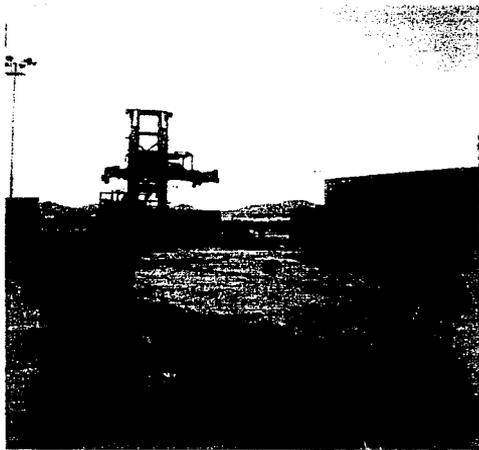


Figura 1.4a

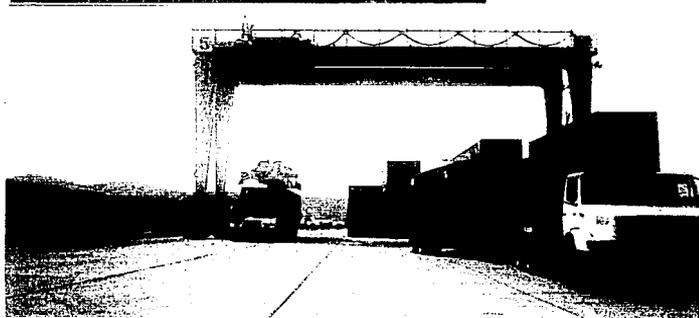


Figura 1.4b

**II COMPORTAMIENTO OBSERVADO DEL
MUELLE DURANTE EL SISMO DEL 9 DE
OCTUBRE DE 1995**

II COMPORTAMIENTO OBSERVADO DEL MUELLE DURANTE EL SISMO DEL 9 DE OCTUBRE DE 1995.

II.1 CARACTERISTICAS DEL SISMO.

El 9 de octubre de 1995 a las 9:37 A.M., un sismo con una magnitud de 7.9 en la escala de Richter sacudió las costas de los estados de Colima y Jalisco, causando destrucción y daños en diversos tipos de estructuras, así como pérdidas de vidas humanas. El sismo tuvo aproximadamente cincuenta réplicas con magnitudes mayores a 4, siendo la mayor el 19 de octubre con una magnitud de 6.1 (Flores, et al., 1996).

El epicentro del temblor se ubicó a 30 Km al sureste del puerto de Manzanillo (18.7° N, 104.3° W) a una profundidad de 33 Km. Este ha sido el temblor de mayor intensidad en la región después del ocurrido en junio de 1932, el cual tuvo una magnitud de 8.2.

El sismo causó daños en la región que se extiende desde el puerto de Manzanillo hasta casi 200 Km al norte, en Puerto Vallarta, Jalisco. Se estima que 50 personas perecieron en el temblor y que más de 10,000 quedaron sin hogar.

II.2 RESUMEN DE DAÑOS EN LA CIUDAD DE MANZANILLO.

La ciudad de Manzanillo se encuentra limitada por el Océano Pacífico y una derivación de la Sierra Madre Occidental, es un importante centro turístico y es uno de los puertos industriales con más actividades en la costa del Pacífico mexicano. La mayor parte de la ciudad se encuentra desplantada en un macizo rocoso, con excepción de las zonas costeras en las cuales hay suelos blandos y rellenos de arena.

Los efectos observados del sismo en la ciudad y puerto de Manzanillo corresponden a valores de VI y VIII de la Escala Modificada de Mercalli. Los principales daños estructurales observados en Manzanillo por el sismo del 9 de octubre fueron los siguientes:

- Casas-habitación de uno y dos niveles con colapso parcial o total, estructurados a base de mampostería sin reforzar.
- Deslizamiento de rocas en los bordes de los caminos, que sin embargo, no obstruyeron el tráfico de la ciudad.
- Colapso del Hotel Costa Real, estructura de seis niveles estructurada a base de marcos de concreto reforzado que había sido dañada en el sismo de septiembre de 1985, como resultado de este colapso murieron 38 personas.
- Asentamientos en los patios de la Planta de Energía producidos por licuación de los rellenos.

- Daños en un hospital de cuatro niveles estructurado con marcos de concreto.
- Desplomes de elementos de fachada y muros de relleno en un centro comercial de Santiago población cercana a Manzanillo.
- Asentamientos en el patio del muelle de contenedores y en todas las bodegas de los muelles del puerto interior.
- Fisuras y fracturas en los pilotes del muelle para contenedores y desprendimiento de losas.

II.3 COMPORTAMIENTO DEL MUELLE DURANTE EL SISMO DEL 9 DE OCTUBRE.

Después del sismo se realizó una inspección detallada del muelle de la terminal especializada para contenedores con el objeto de cuantificar y clasificar los daños estructurales. Con el apoyo de un equipo de buceo profesional se revisaron los pilotes desde el nivel de dragado y pedraplén hasta su conexión con la losa plana. También se inspeccionaron minuciosamente las losas de los muelles.

Se pudo apreciar que durante el sismo se produjeron choques entre los módulos del muelle (figura 2.1), ya que la junta de construcción de 2 cm resultó insuficiente para los desplazamientos que se originaron en el muelle.

II.3.1 DESCRIPCIÓN DE DAÑOS EN PILOTES.

Se encontraron dos tipos de daños en los pilotes, los cuales se clasificaron de la siguiente manera:

a.- Pilotes fracturados.- el tipo de daño es estructural, ya que la capacidad sismo-resistente de los pilotes se reduce notablemente.

b.- Pilotes fisurados.- el tipo de daño es no estructural, se caracteriza porque no existe reducción importante de las capacidades sismo-resistentes de los pilotes.

II.3.1a Pilotes fracturados.

La observación de los daños encontrados en los pilotes sugieren que éstos se produjeron en los pilotes que por defectos en el procedimiento constructivo tuvieron que ser aumentados en longitud, con el objeto de que el refuerzo longitudinal de éstos se anclara de manera adecuada en la losa.

Se realizaron muestreos en algunos de los pilotes dañados, para lo cual se efectuaron demoliciones parciales de las zonas afectadas y se pudo constatar que las fallas se presentaron en la conexión soldada (empate) de las varillas del refuerzo longitudinal y consistió en fracturas de este refuerzo en la zona de soldadura. La figura 2.2 muestra los daños típicos encontrados en este tipo de pilotes.

El total de pilotes en todo el muelle con daño estructural es de 29 piezas, lo que representa el 2.48 % de todos los pilotes del muelle. Del total de pilotes con daño estructural 26 tuvieron longitudes iniciales menores que las requeridas, lo que representa el 90 % de los pilotes con daño estructural.

También se observó que la mayoría de los pilotes con este tipo de daño se encuentran en los primeros ejes cercanos al lado de tierra y que están hincados con inclinación hacia el lado de mar.

II.3.1b Pilotes fisurados.

Se considera en esta categoría a los pilotes con fisuras que tienen ancho menor a 0.5 mm.. La distribución de este tipo de daño en los módulos es muy dispersa y se observó tanto en la zona emergida del pilote como debajo del nivel del mar. El total de pilotes fisurados en todo el muelle es de 164 piezas, lo cual representa el 14 % de todos los pilotes del muelle.

II.3.2 DESCRIPCION DE DAÑOS EN LOSA.

Los daños encontrados en la losa en cantidad fueron mayores que los sufridos en los pilotes (tabla 2.1).

El tipo de daño en la losa consistió en desprendimiento del concreto en el lecho inferior, en la vecindad de la conexión con el pilote (figura 2.3a). La remoción de este concreto permitió poner al descubierto el acero de refuerzo longitudinal de la losa (figura 2.3b).

Los daños observados tienen características de una falla por penetración, la que se produce por el efecto de la transmisión del momento flexionante entre la losa y el pilote, lo que origina momentos flexionantes y cortantes en la conexión pilote - losa plana.

II.3.3 DAÑOS EN LOS PATIOS DE CONTENEDORES.

La inspección de daños en el muelle de contenedores, así como en los patios de éstos, mostró evidencias claras de movimientos importantes del pedraplén (figura 1.3) hacia el lado de mar durante los sismos ocurridos en octubre, los cuales causaron empujes laterales en los pilotes del muelle, así como hundimientos importantes en los patios vecinos al muelle, figura 2.4. La figura 2.4a muestra una vista del muelle de contenedores en la parte izquierda de esta figura. Como el muelle se construyó sobre los pilotes anteriormente descritos, el muelle quedó en un nivel superior respecto al patio adyacente (figura 2.4a), el cual está construido sobre el pedraplén (figura 1.3). La figura 2.4b muestra otro caso de hundimientos excesivos en el muelle de contenedores.

II.3.4 CLASIFICACION Y CANTIDAD DE DAÑOS.

La **tabla 2.1** muestra un resumen del número de elementos dañados en los cinco módulos del muelle (A.P.I. y Zamudio, 1995).

Las **figuras 2.5 a la 2.9** muestran la localización de daños en pilotes y losa en los módulos I, II, III, IV y V del muelle de contenedores.

Tabla 2.1. Evaluación de daños en los módulos del muelle.

| MODULO | PILOTES POR MODULO | PILOTES CON DAÑO | DAÑOS EN LOSA | PILOTES FISURADOS |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| I | 234 | 11 | 16 | 16 |
| II | 234 | 5 | 20 | 13 |
| III | 234 | 7 | 9 | 41 |
| IV | 234 | 2 | 4 | 34 |
| V | 234 | 4 | 4 | 60 |
| TOTAL | 1170 | 29 | 53 | 164 |
| PORCENTAJE DEL TOTAL | 100 % | 2.48 % | 4.53 % | 14.02 % |



Figura 2.1

Daños en juntas de construcción entre módulos



Figura 2.2a Vista de pilotes con aumentos

Daños estructurales típicos en pilotes del muelle

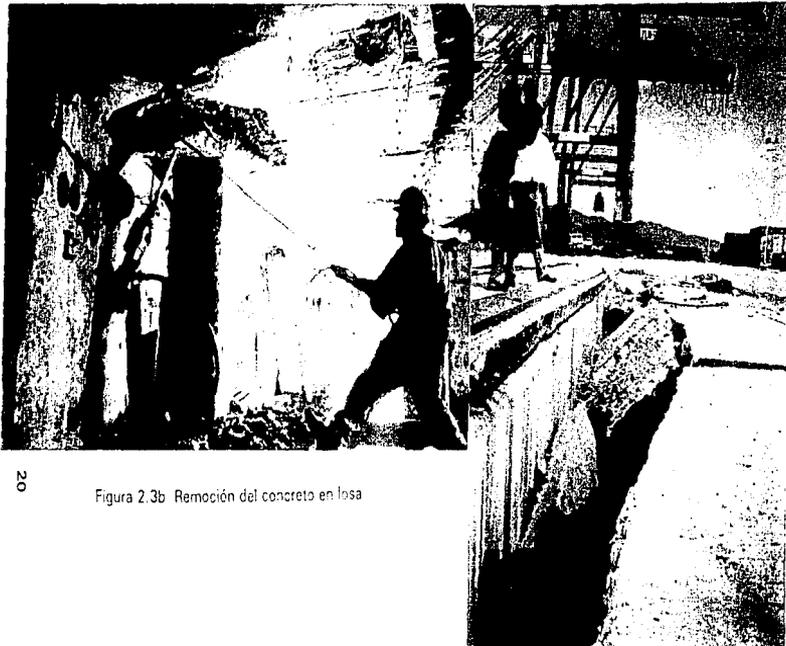


Figura 2.2b Daño estructural típico en pilotes con aumento



Figura 2.3a Desprendimiento típico del concreto en losa

Daños estructurales típicos en losa del muelle



20

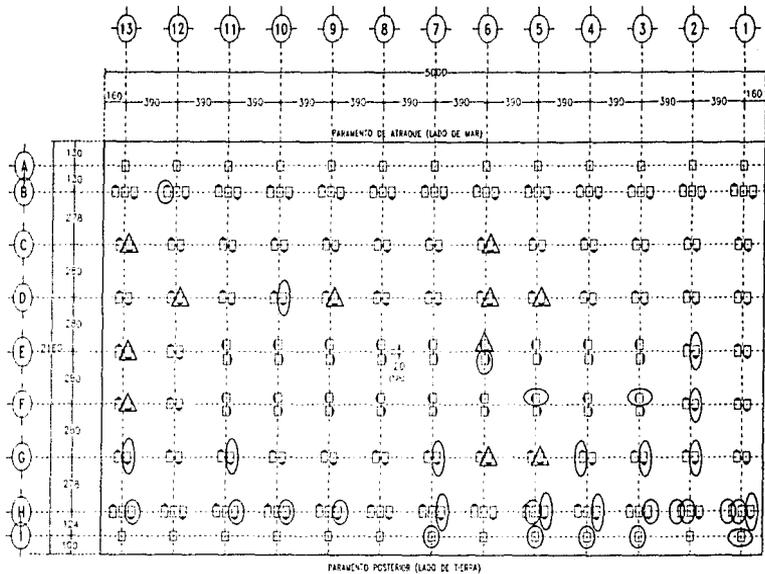
Figura 2.3b Remoción del concreto en losa

Figura 2.4a Diferencia de nivel entre muelle de contenedores y patios

Daños típicos en patios del muelle



Figura 2.4b Vista de hundimientos en patios del muelle



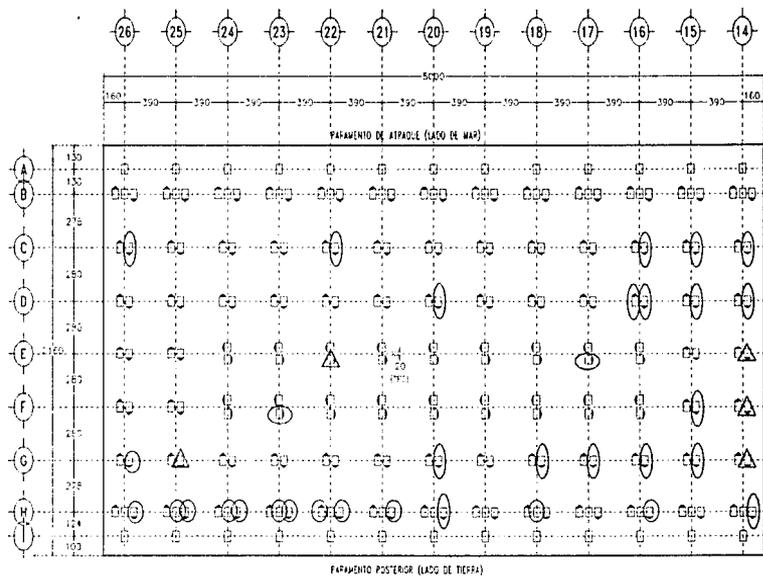
PLANTA MÓDULO I

ESC. 1:200

- SIMBOLOGÍA**
-  INDICA PILOTE FRACTURADO
 -  INDICA PILOTE DAÑADO
 -  INDICA DESPRENDIMIENTO DE LOSA EN PILOTE

ADOTACIONES EN CM.

Figura 2.5 Localización de daños en módulo I



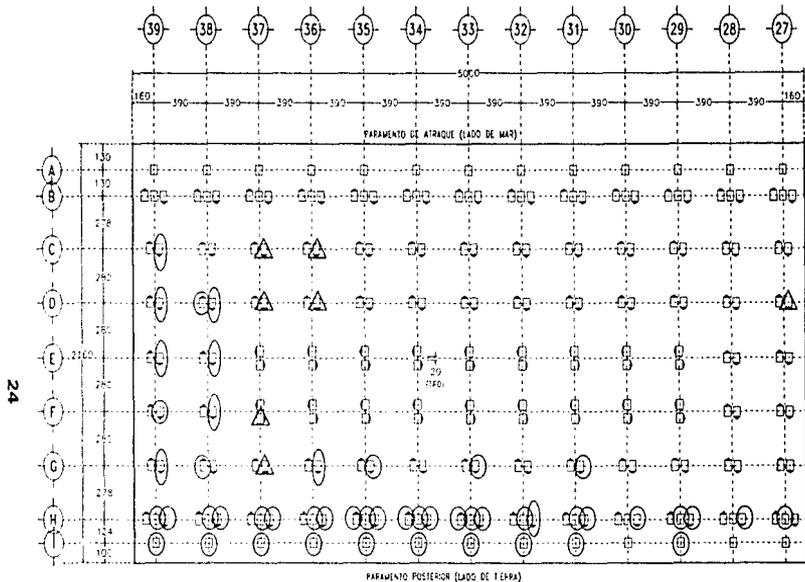
PLANTA MÓDULO II

E.C.C. 1.153

- SIMBOLOGÍA**
-  INDICA F. LOTE FRACTURADO
 -  INDICA F. LOTE FIDUCIARIO
 -  INDICA DEFORMAMIENTO DE LOSA EN PISO

COLOCACIONES EN CM.

Figura 2.6 Localización de daños en módulo II



PLANTA MÓDULO III

ESQ. 1/250

SIMBOLOGÍA



INDICA PILOTE FRACTURADO



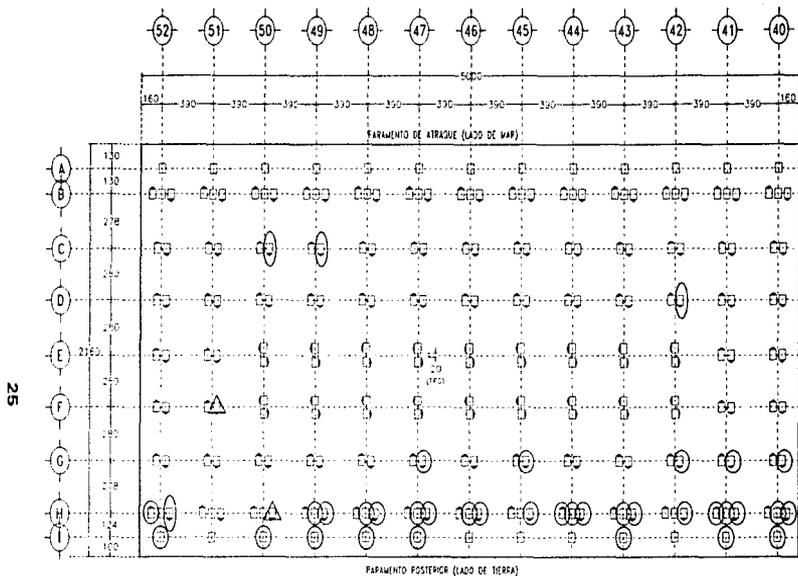
INDICA PILOTE FISURADO



INDICA DESPRENIMIENTO DE LOSA EN P.O.D.E

ACOTACIONES EN CM.

Figura 2.7 Localización de daños en módulo III



PLANTA MÓDULO IV

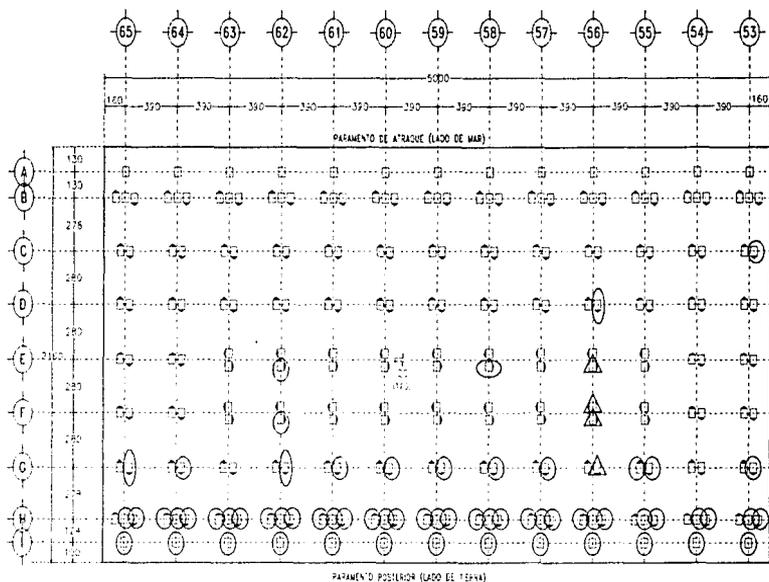
ESC 1:50

SIMBOLOGÍA

-  INDICA PILETE FRACTURADO
-  INDICA PILETE FIGURADO
-  INDICA ESPALMADO DE LOSA EN PILETE

ACOTACIONES EN CM.

Figura 2.8 Localización de daños en módulo IV



PLANTA MÓDULO V
EOT 1002

SIMBOLOGÍA

-  INDICA PILOTE FRACTURADO
-  INDICA PILOTE FISURADO
-  INDICA DESPRENDIMIENTO DE LOSA EN PILOTE

ACOTACIONES EN CM

Figura 2.9 Localización de daños en módulo V

III PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y REVISIÓN ESTRUCTURAL

III PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y REVISIÓN

DEL MUELLE.

El análisis y la revisión estructural del módulo tipo del muelle se realizaron con el programa de análisis SAP90 y su post-procesador SAPCON, este último para la revisión de elementos de concreto reforzado.

El módulo se analizó como un marco tridimensional formado por pilotes y trabes, éstas se definieron considerando un ancho de losa equivalente igual a $c_2 + 3h$, en donde c_2 es la dimensión transversal de la columna en el sentido perpendicular al análisis y h es el peralte de la losa. Para este análisis se supuso un comportamiento elástico y en la evaluación de los momentos de inercia de los elementos estructurales se consideraron las secciones brutas.

La revisión de los estados límite de falla del muelle se efectuaron con base en las hipótesis para la obtención de resistencias de diseño del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1993 (RCDF-93) y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTCC).

III.1 ACCIONES GRAVITACIONALES.

Las cargas gravitacionales que se utilizaron para el análisis estructural se obtuvieron de la información del proyecto original y se consideraron buscando los

efectos más críticos en la estructura. En la tabla 3.1 se muestran los valores de estas cargas que se emplearon en este estudio.

Tabla 3.1. Cargas gravitacionales de proyecto.

| CONCEPTO | CANTIDAD |
|---|---------------------------------|
| 1 CARGA MUERTA: | |
| - Losa maciza de concreto reforzado (h = 45 cm) | 1080 Kg/m ² |
| - Superficie de rodamiento(h = 15 cm) | 360 Kg/m ² |
| TOTAL CARGA MUERTA = | 1440 Kg/m² |
| 2 CARGA VIVA MAXIMA | 4000 Kg/m ² |
| 3 CARGA VIVA INSTANTANEA | 2000 Kg/m ² |
| 4 CAMION HS20 | AASHTO - 1993 |
| 5 GRUA DE PORTICO | Proporcionada por el fabricante |

El programa de análisis empleado considera directamente el peso propio de los pilotes y traveses de los ejes B y H.

La grúa de pórtico tiene una separación entre ejes de rodamiento de 16.76 m. Las descargas en estos ejes se obtuvieron del catálogo del fabricante (MITSHUBISHI, 1991) para las condiciones de operación que se muestran en la Tabla 3.2. Las descargas son por cada una de las cuatro bases de la grúa, las que se distribuyeron proporcionalmente entre las ocho ruedas que tiene cada base.

Tabla 3.2. Descargas de la grúa de pórtico.

| CONCEPTO | DESCARGA POR BASE. |
|-----------------------------------|--------------------|
| G1.- Grúa en operación | 304 toneladas |
| G2.- Grúa en operación con viento | 327 toneladas |
| G3.- Grúa en operación con sismo | 300 toneladas |
| G4.- Grúa anclada con huracán | 342 toneladas |

III.2 ACCIONES SISMICAS.

Los análisis sísmicos que se efectuaron fueron de los tipos estático y dinámico espectral, tomando en cuenta las acciones que a continuación se describen.

El muelle en análisis se clasifica según su uso e importancia como una construcción del Grupo "A" (RCMan-93). El estudio de mecánica de suelos efectuado (TGC, 1995) indica que se encuentra desplantado en suelo tipo II (Zona de transición). Con base en lo anterior al muelle le corresponde un coeficiente sísmico, c , igual a 0.728. El factor de reducción por comportamiento sísmico, Q , empleado en el análisis se consideró igual a dos. Este valor se obtuvo tomando en cuenta las características de estructuración del módulo tipo del muelle.

Los valores que se consideraron para la evaluación de la masa del muelle se muestran en la **Tabla 3.3**.

Tabla 3.3. Peso y masa del módulo típico.

| CONCEPTO | | PESO |
|------------------------------|--|------------|
| - Carga Muerta: | $1.44 \text{ t/m}^2 \times 1080 \text{ m}^2 =$ | 1555.2 ton |
| - Carga Viva Instantánea: | $2 \text{ t/m}^2 \times 1080 \text{ m}^2 =$ | 2160.0 ton |
| - Pantalla (lado de mar): | $2.4 \text{ t/m}^3 \times 2.13 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 50 \text{ m} =$ | 127.8 ton |
| - Pantalla (lado de tierra): | $2.4 \text{ t/m}^3 \times 1.8 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} \times 50 \text{ m} =$ | 64.8 ton |

| | |
|---|----------------------------------|
| - Trabe de ejes B y H (Peralte que sobresale de la losa): 2.4 t/m ³ x 1.2 m x 0.35 m x 100 m = | 100.8 ton |
| PESO TOTAL (W): | 4008.6 ton |
| MASA TOTAL (M): | 408.62 Kg s²/m |

La fuerza sísmica estática que se empleó para el análisis estructural es:

$$F_s = c W / Q = 0.726 \times 4008.6 / 2 = 1,459 \text{ ton.}$$

Se empleó la forma del espectro de respuesta estipulado por el Manual de Diseño por Sismo de la C.F.E. (C.F.E.,1993) para la zona sísmica D de la República Mexicana. Las ordenadas espectrales empleadas son las indicadas por el RCMan-93. (figura 3.1). Estas ordenadas, obtenidas como una fracción de la gravedad, están definidas con las siguientes expresiones:

$$a = c \text{ para } T_a < T < T_b \quad \dots \quad 3.1$$

$$a = c (T_b/T)^r \text{ para } T > T_b \quad \dots \quad 3.2$$

en donde:

$$c = 0.728$$

$$T_a = 0$$

$$T_b = 1.20 \text{ seg}$$

$$r = 2/3$$

T = Período de la estructura en seg.

III.3 CRITERIOS DE REVISION SISMICA.

Las fuerzas estáticas se aplicaron en el centro de masa del módulo. Para tomar en cuenta los efectos de la excentricidad torsional accidental, se agregaron momentos en el centro de masa equivalentes a la fuerza estática multiplicada por el 10 % de la dimensión del muelle perpendicular a la dirección de análisis (RCMan-93).

Las fuerzas sísmicas se combinaron de tal forma que se analizan el 100 % de la componente en una dirección con el 30 % de la componente perpendicular.

Asimismo, se consideraron los efectos de segundo orden (efecto P-DELTA) para amplificar los momentos flexionantes en los pilotes como consecuencia de la posición desplazada de la masa. Las amplificaciones de momento máximas alcanzadas por este efecto fueron menores del 15 % de los momentos primarios máximos correspondientes.

El análisis espectral dinámico se efectuó tomando en cuenta los tres modos naturales de vibración del muelle. Se compararon los cortantes basales dinámicos en las dos direcciones con el 80 % de los cortantes basales estáticos para obtener los factores de amplificación o reducción de fuerzas sísmicas.

III.4 CONDICIONES DE CARGA.

Para fines de esta revisión estructural se consideraron en el modelo analítico del SAP90 trece condiciones de carga independientes, que se describen a continuación:

- 1.- Carga Muerta = (CM).
- 2.- Carga Viva Máxima = (CVm).
- 3.- Carga Viva Instantánea = (CVi).
- 4.- Sismo estático en la dirección longitudinal (Dirección X) con efectos de torsión = (SE_x).
- 5.- Sismo estático en la dirección transversal (Dirección Y) con efectos de torsión = (SE_y).
- 6.- Grúa G1 en operación ubicada en la posición "A" = (G1_A).
- 7.- Grúa G2 en operación con viento ubicada en la posición "A" = (G2_A).
- 8.- Grúa G3 en operación con viento y sismo ubicada en la posición "A" = (G3_A).
- 9.- Grúa G4 con huracán ubicada en la posición de anclaje = (G4).
- 10.- Grúa G1 en operación ubicada en la posición "B" = (G1_B).
- 11.- Grúa G2 en operación con viento ubicada en la posición "B" = (G2_B).
- 12.- Grúa G3 en operación con viento y sismo ubicada en la posición "B" = (G3_B).
- 13.- Análisis dinámico espectral = (D).

La posición "A" de las grúas es tal que la resultante de las descargas de las bases queda sobre los pilotes. En la posición "B" la resultante de las descargas de la grúa queda al centro del claro entre apoyos de la trabe.

El peso del camión tipo HS20 se consideró en las condiciones de carga de grúa en operación (G_{1A} y G_{1B}).

III.5 DESCRIPCIÓN DEL MODELO ANALÍTICO TRIDIMENSIONAL DE ANÁLISIS.

La estructura se analizó como un marco tridimensional formado por pilotes verticales e inclinados. Para la losa plana se consideraron traveses equivalentes de sección rectangular. Los pilotes se consideraron empotrados en el nivel de hincado. Aproximadamente a cada 2.40 m de separación se colocaron nudos en los cuales se restringen los desplazamientos horizontales por medio de resortes que toman en cuenta la rigidez horizontal del pedraplén y del suelo del fondo marino (figura 3.2).

Para tomar en cuenta el efecto del diafragma horizontal rígido de la losa se consideró un nudo maestro, al cual se ligaron todos los extremos superiores de los pilotes y las traveses de ancho efectivo.

El módulo de elasticidad de los elementos de concreto, E_c , que se utilizó en el análisis estructural se obtuvo con la siguiente expresión:

$$E_c = 14000\sqrt{f'_c} \quad \dots \quad 3.3$$

III.5.1 ANCHO EQUIVALENTE DE LOSA.

En el caso de la losa plana de la superficie de rodamiento se consideraron traveses con un ancho efectivo igual a $c_2 + 3h$ centradas con respecto al eje de los pilotes (NTCC, 1987).

Por la disposición en planta de los pilotes se tuvieron tres casos de anchos efectivos, b . (figura 3.3).

CASO I .- Trabe equivalente con un pilote perpendicular a la dirección de análisis:

$$h = 0.45 \text{ m}$$

$$b = c_2 + 3h = 0.5 + (3 \times 0.45) = 1.85 \text{ m}$$

CASO II .- Trabe equivalente con dos pilotes perpendiculares a la dirección de análisis:

$$h = 0.45 \text{ m}$$

$$b = c_2 + 3h = 1.2 + (3 \times 0.45) = 2.55 \text{ m}$$

CASO III .- Trabe equivalente con tres pilotes perpendiculares a la dirección de análisis:

$$h = 0.45 \text{ m}$$

$$b = c_2 + 3h = 1.9 + (3 \times 0.45) = 3.25 \text{ m}$$

En algunas franjas se consideraron traveses no prismáticos (de ancho variable) para tomar en cuenta la posición de los pilotes en los extremos.

III.5.2 PILOTES Y RIGIDECES HORIZONTALES.

Los pilotes se consideraron como elementos estructurales prismáticos de 50 x 50 cm, empotrados en el nivel -20, apoyados en resortes intermedios y conectados rígidamente a las traveses equivalentes.

La constante de rigidez traslacional de los resortes intermedios se obtuvieron con base en el módulo de reacción de los estratos del suelo proporcionados por el estudio de mecánica de suelos (TGC, 1996):

a.- Pedraplén de confinamiento . Formado por material de todos tamaños incluyendo suelo fino con una compactación relativa media.

Módulo de reacción $K_{n1} = 3.7 \text{ Kg/cm}^3$.

b.- Depósitos fluviolacustres. Forman el fondo marino y se componen de intercalaciones de arenas, arcillas y gravas.

Módulo de reacción $K_{n1} = 0.67 \text{ Kg/cm}^3$.

La constante de rigidez se calculó con la siguiente expresión:

$$k = K_{n1} b_p h_{\text{tributaria}} \dots \quad 3.4$$

en donde:

k = Constante de rigidez traslacional del resorte en Kg/m.

K_{n1} = Módulo de reacción del estrato en Kg/m³.

b_p = Ancho del pilote en el caso anclizado.

$h_{\text{tributaria}}$ = Longitud tributaria del resorte en m.

En la figura 3.2 se muestra una elevación del muelle mostrando las constantes de rigidez que representan a la reacción del relleno.

III.6 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ANALISIS.

III.6.1 ANALISIS DINAMICO.

El período fundamental de la estructura calculado, T , fue igual a 0.35 seg y corresponde al modo de traslación en el sentido longitudinal. En la Tabla 3.4 se resumen las características dinámicas de la estructura para los tres modos naturales de vibración del muelle.

Tabla 3.4. Características dinámicas del muelle.

| MODO | PERIODO (seg) | FRECUENCIA (ciclos/seg) | DIRECCION |
|------|---------------|----------------------------|------------------|
| 1 | 0.35 | 2.86 | Longitudinal (x) |
| 2 | 0.24 | 4.17 | Transversal (y) |
| 3 | 0.23 | 4.35 | Torsión |

En las figuras 3.4 a 3.6 se muestran las plantas con las formas modales del módulo analizado.

Los cortantes basales dinámicos calculados V_{Dx} (Dirección longitudinal) y V_{Dy} (Dirección transversal) fueron 1315 y 1464 toneladas, respectivamente. Como los valores anteriores son mayores que el 80 % del cortante basal estático, para la revisión estructural del muelle se utilizaron los cortantes dinámicos.

III.6.2 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES.

Los desplazamientos laterales máximos calculados D_x (Dirección longitudinal) y D_y (Dirección transversal) fueron 1.96 y 1.0 cm, respectivamente. Estos valores se obtuvieron en el nudo maestro (centro de masa) para las combinaciones con fuerzas sísmicas estáticas y consideran el comportamiento elástico para las fuerzas sísmicas sin reducir. En los nudos de las esquinas los desplazamientos máximos D_x y D_y fueron iguales 2.05 y 1.45 cm, respectivamente, los que son mayores a los anteriormente comentados debido a los efectos de torsión considerados (figuras 3.7 y 3.8).

Si se considera que para este tipo de estructuras no hay especificaciones que definan el estado límite de servicio para fuerzas horizontales, estos valores pueden ser pequeños; sin embargo, la junta de construcción entre módulos de 2 cm es

insuficiente para acomodar los desplazamientos laterales del muelle antes mencionados, lo cual explica el choque que hubo entre módulos en el pasado sismo.

III.6.3 ELEMENTOS MECANICOS.

La revisión estructural se efectuó con un post-procesador del programa, el cual recupera los elementos mecánicos obtenidos en el análisis y los combina internamente para lograr las condiciones de diseño más críticas. Debido a que la cantidad de elementos es muy grande en este trabajo no se muestran los valores de todos los elementos mecánicos calculados. Sin embargo, en las figuras 3.9 a 3.14 se muestran algunos diagramas de momentos flexionantes, cortantes y fuerzas axiales para algunos marcos representativos.

III.7 REVISION ESTRUCTURAL.

La revisión estructural del muelle se dividió en dos partes:

- 1.- La evaluación estructural por flexo-compresión y cortante de los pilotes se efectuó con el post-procesador del programa de análisis SAPCON para elementos de concreto reforzado.
- 2.- La revisión de la transmisión de momentos entre la losa y los pilotes se realizó mediante el empleo de una hoja de cálculo elaborada para este estudio.

En ambas revisiones se utilizaron las hipótesis para obtención de resistencias de diseño del RCDF-93.

III.7.1 FACTORES DE CARGA.

Los factores de carga (FC) que se utilizaron fueron (RCDF-93):

- FC = 1.5 para combinaciones que incluyen acciones permanentes ya que se trata de una estructura del Grupo A.

- FC = 1.1 para combinaciones que incluyen acciones permanentes y accidentales (sismo y viento),

III.7.2 COMBINACIONES DE CARGA.

Se revisó la seguridad estructural del muelle para las catorce combinaciones de carga siguientes:

- 1.- 1.5 (CM + CVm).
- 2.- 1.1 (CM + CVi + Sx + 0.3 Sy).
- 3.- 1.1 (CM + CVi + 0.3 Sx + Sy).
- 4.- 1.1 (CM + CVi - Sx - 0.3 Sy).
- 5.- 1.1 (CM + CVi - 0.3 Sx - Sy).
- 6.- 1.5 (CM + CVm + G1_A).

7.- $1.5 (CM + CV_m + G2_A)$.

8.- $1.1 (CM + CV_i + S_x + 0.3 S_y + G3_A)$.

9.- $1.1 (CM + CV_i + 0.3 S_x + S_y + G3_A)$.

10.- $1.1 (CM + G4)$.

11.- $1.5 (CM + CV_m + G2_B)$.

12.- $1.5 (CM + CV_m + G2_B)$.

13.- $1.1 (CM + CV_i + S_x + 0.3 S_y + G3_B)$.

14.- $1.1 (CM + CV_i + 0.3 S_x + S_y + G3_B)$.

En las combinaciones anteriores, S_x y S_y son los cortantes basales dinámicos calculados para la dirección longitudinal y transversal, respectivamente.

III.7.3 COEFICIENTE DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL.

Con el objeto de simplificar la interpretación de los resultados que aquí se efectúa, para todos los elementos estructurales se calculó el coeficiente de seguridad estructural, CSE, definido con la siguiente expresión:

$$CSE = (FC \times \text{Acciones de diseño}) / (FR \times \text{Resistencia nominal}) \quad \dots \quad 3.5$$

El parámetro CSE tiene los siguientes límites:

$CSE \leq 1$ Indica que el elemento estructural queda dentro del rango de seguridad que especifica el RCDF-93.

CSE > 1 Indica que el elemento estructural excede el estado límite de falla que especifica el RCDF-93.

III.7.4 REVISION ESTRUCTURAL DE PILOTES.

Los pilotes tienen un armado típico de ocho varillas longitudinales del No.8 y estribos del No.2 a cada 15 cm (figura 3.15).

En la figura 3.16 se muestran de manera gráfica los valores más críticos del parámetro CSE calculados por flexo-compresión para cada pilote del muelle.

La revisión estructural muestra que aproximadamente el 13 % de los pilotes se encuentran sobreesforzados para combinaciones sísmicas, en los casos más desfavorables el parámetro CSE alcanzan valores cercanos a 1.4. La mayoría de los pilotes sobreesforzados se encuentran en los ejes "H" e "I", cercanos al paramento posterior (lado de tierra), lo cual es congruente con el levantamiento de daños que se comentó en el segundo capítulo.

Los coeficientes de seguridad estructural de la revisión por cortante en los pilotes son bastante menores que uno, por tanto quedan dentro del margen de seguridad del RCDF-93.

III.7.5 REVISION ESTRUCTURAL DE LA LOSA.

La expresión utilizada para la revisión por cortante en la losa, v_u , considerando la transmisión de momento entre los pilotes y la losa es la siguiente:

$$v_u = (V_u / A_c) + (\alpha M_u c_{AB} / J_c) \quad \dots \quad 3.6$$

en donde:

$$v_u = \text{En Kg/cm}^2.$$

V_u = Fuerza cortante de diseño en Kg.

A_c = Area crítica por penetración en cm^2 .

α = Coeficiente adimensional que depende de las dimensiones de la sección crítica por cortante del pilote c_1 y c_2 .

M_u = Momento flexionante último de diseño en Kg cm.

c_{AB} = Distancia del centroide del pilote al borde de la sección crítica en cm.

J_c = Constante que depende de la geometría del pilote y de la sección crítica.

El coeficiente de seguridad estructural, CSE, en la condición de revisión por cortante en la losa es entonces:

$$\text{CSE} = v_r / v_u \quad \dots \quad 3.7$$

en donde:

v_r = Esfuerzo cortante resistente de diseño.

En la figura 3.17 se presentan los valores más críticos del parámetro CSE en las uniones losa-pilote del módulo analizado.

Los coeficientes de seguridad estructural anteriores muestran que no se presentan sobreesfuerzos significativos en la revisión por cortante en la losa.

La expresión utilizada para la revisión de la resistencia a momento flexionante en la zona crítica de la losa debido a la transmisión de momento en la losa, en el ancho $c_2 + 3h$, es:

$$M_u = (1 - \alpha) M_D \quad \dots \quad 3.8$$

en donde:

M_u = Momento de diseño que se transmite por flexión en el ancho $c_2 + 3h$.

M_D = Momento de diseño entre losa y pilote.

Con la expresión anterior se revisaron las uniones más críticas y no se encontraron sobreesfuerzos en la losa debido al efecto de momento flexionante.

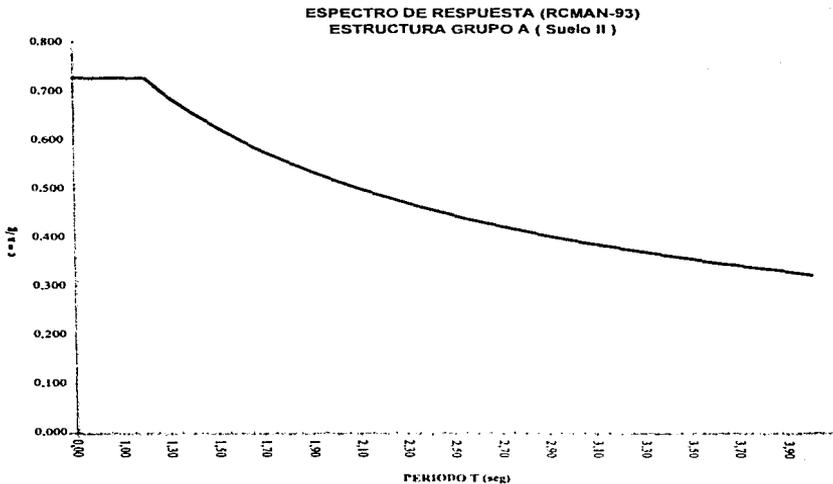


Figura 3.1 Espectro de diseño (RCMan-93 modificado)

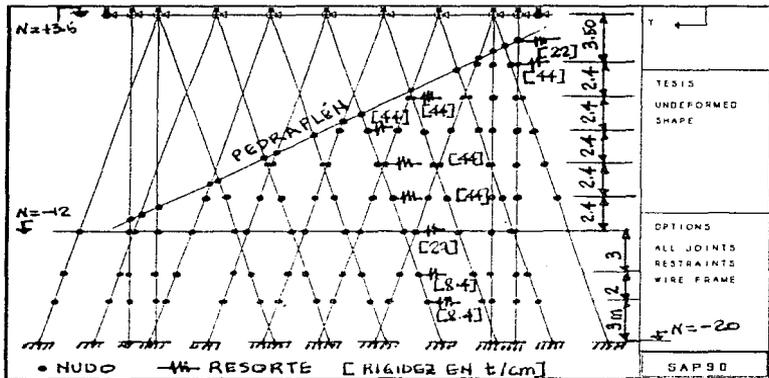


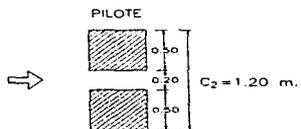
Figura 3.2

Elevación del modelo del muelle para análisis

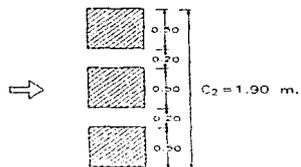
CASO I



CASO II



CASO II



INDICA LA DIRECCION DE ANALISIS

Figura 3.3 Anchos equivalentes típicos

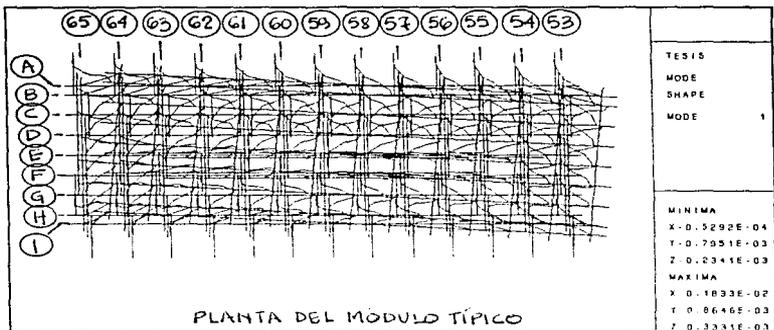


Figura 3.4 Forma modal 1

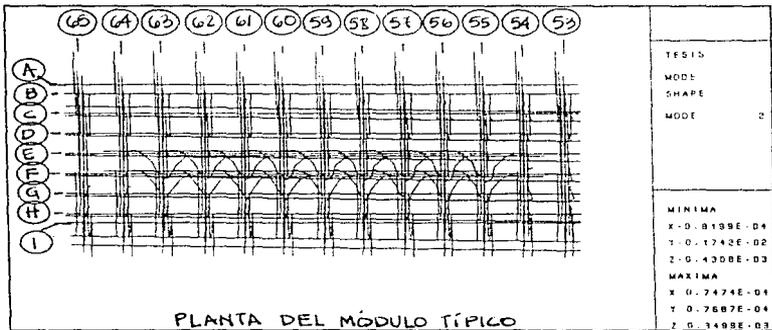


Figura 3.5 Forma modal 2

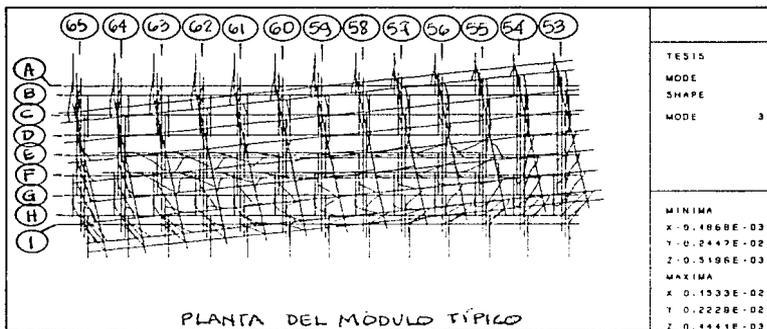


Figura 3.6 Forma modal 3

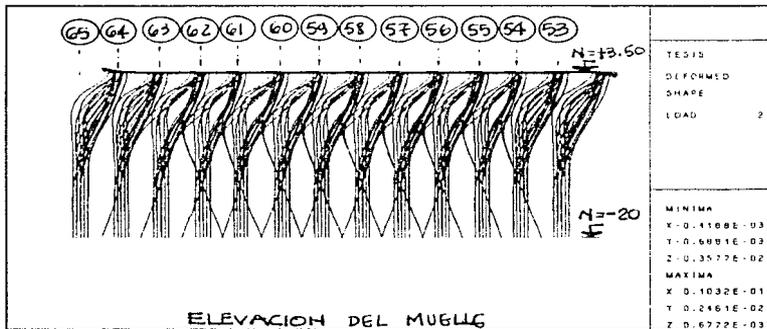


Figura 3.7 Vista del muelle deformado en sentido longitudinal

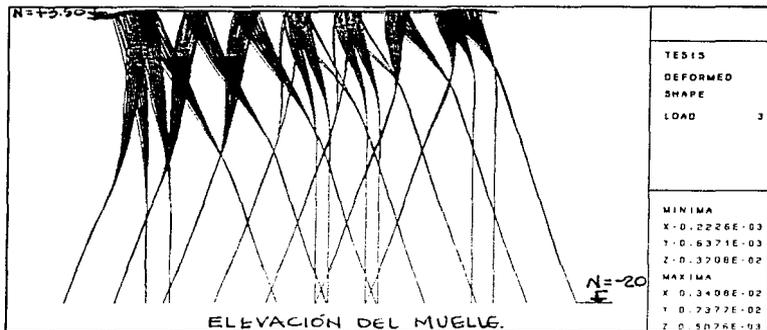


Figura 3.8 Vista del muelle deformado en sentido transversal

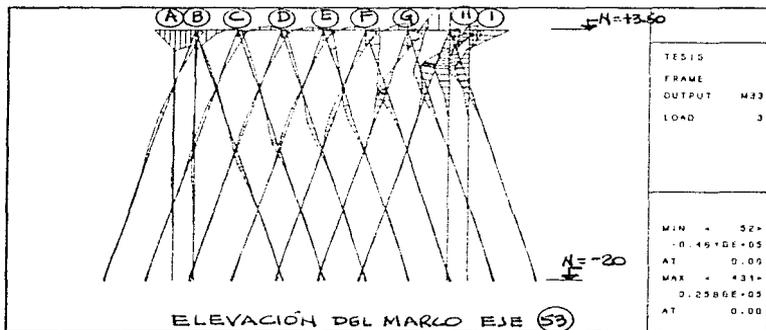


Figura 3.9 Diagrama de momentos flexionantes en marco transversal

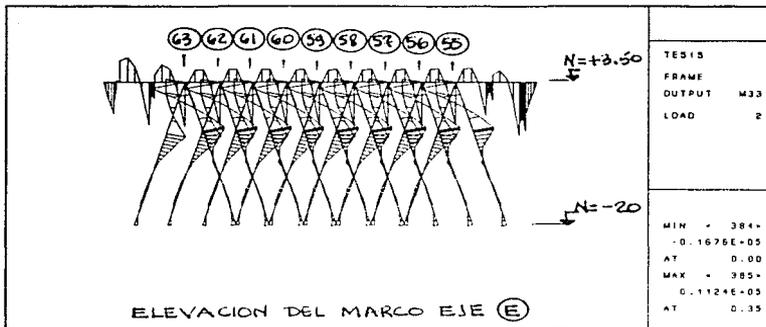


Figura 3.10 Diagrama de momentos flexionantes en marco longitudinal

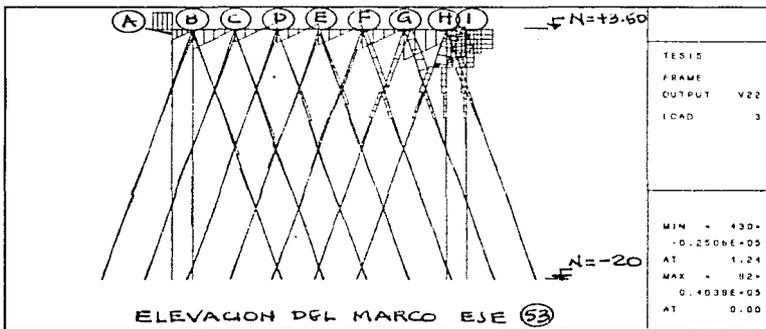


Figura 3.11 Diagrama de cortantes en marco transversal

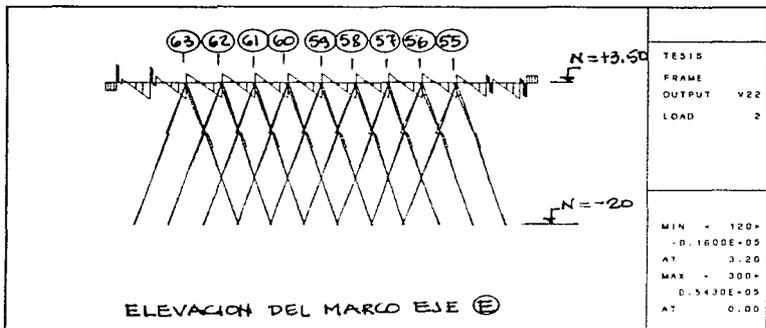


Figura 3.12 Diagrama de cortantes en marco longitudinal

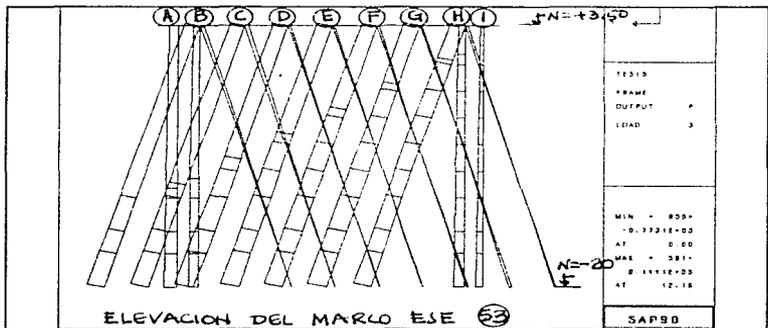


Figura 3.13 Diagrama de fuerzas axiales en marco transversal

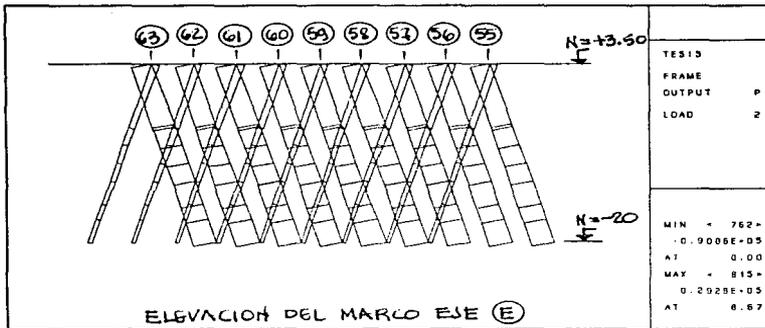


Figura 3.14 Diagrama de fuerzas axiales en marco longitudinal

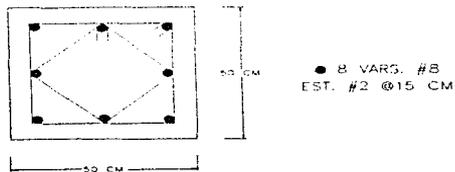
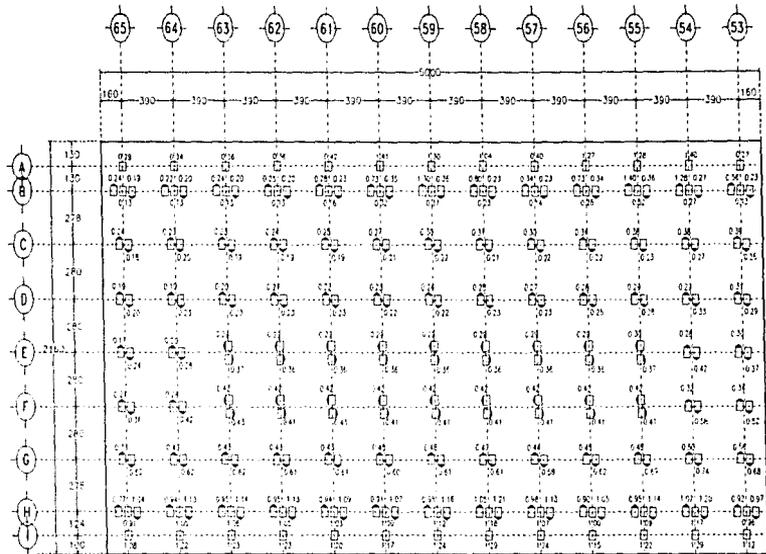


Figura 3.15 Detalle típico de refuerzo longitudinal y transversal en pilotes



FLEMO - COMPRESION

| CCE | PIQUES (PIEZAS) | % DEL TOTAL |
|---------------|-----------------|-------------|
| < 1 | 169 | 80.80 |
| 1 <= CCE <= 3 | 14 | 6.91 |
| > 3 | 31 | 15.29 |
| TOTAL | 214 | 100.00 |

Figura 3.16 Valores más críticos del parámetro CSE en pilotes para la condición

de diseño por flexo-compresión

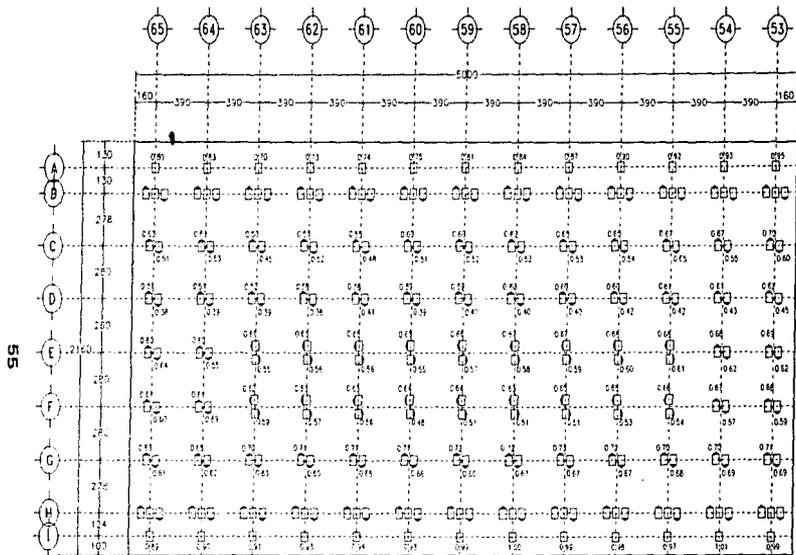


Figura 3.17 Valores más críticos del parámetro CSE en losas para la condición de diseño por cortante

IV CRITERIOS DE REHABILITACIÓN DEL MUELLE

IV CRITERIOS DE REHABILITACION DEL MUELLE.

Con el objeto de que el muelle funcione a su capacidad normal de operación en un tiempo breve, se decidió la rehabilitación de éste con el fin de restaurarle la capacidad de seguridad estructural del proyecto original.

Los criterios de rehabilitación que se sugieren para el muelle son los siguientes.

IV.1 REHABILITACION DE LOSA Y PILOTES FRACTURADOS.

Como se mencionó anteriormente, en el 90% de los pilotes fracturados se encontraron uniones defectuosas de sus varillas longitudinales, lo que corresponde a pilotes con aumento. Con base en lo anterior, se recomendó rehabilitar a todos los pilotes que presentan el aumento, incluyendo a aquellos en los que no se encontraron daños estructurales.

El número total de pilotes en todo el muelle que tuvieron que aumentarse en longitud y que no tienen daño es de 74 piezas, el número de pilotes fracturados es de 29 y la cantidad de uniones losa plana-pilote con desprendimiento es de 53 piezas. Por consiguiente, deberán rehabilitarse 156 pilotes en todo el muelle. En la **tabla 4.1** se muestran las cantidades de pilotes que se deben rehabilitar para cumplir con los criterios anteriores.

Tabla 4.1. Pilotes por rehabilitar en el muelle.

| MODULO | PILOTES Y LOSA FRACTURADOS. | PILOTES SIN DAÑO CON AUMENTO. | PILOTES POR REHABILITAR. |
|---|--|--|-------------------------------------|
| I | 27 | 24 | 51 |
| II | 25 | 19 | 44 |
| III | 16 | 10 | 26 |
| IV | 6 | 17 | 23 |
| V | 8 | 4 | 12 |
| TOTAL | 82 | 74 | 156 |
| PORCENTAJE DEL TOTAL DE PILOTES. | 7 % | 6.32 % | 13.32 % |

El procedimiento para rehabilitar los pilotes fracturados, así como los pilotes con aumento y las zonas con desprendimiento de losas es el siguiente:

1.- Demolición del pilote en una longitud aproximada de 150 cm a partir del lecho inferior de la losa.

2.- Demolición de la parte inferior de la losa abriendo una caja de 130 cm por cada lado y 20 cm de profundidad, sin cortar el acero de refuerzo de la losa.

3.- Demolición del concreto en la parte superior de la losa en esquinas opuestas, formando cuatro cajas de 20 cm por lado cada una, sin cortar el acero en la parte superior de la losa para inyección del concreto.

4.- Retiro, suministro, habilitado y colocación de acero de refuerzo en pilotes (figura 4.1). Si a juicio de la supervisión de la A.P.I. el acero de refuerzo principal se encuentra en buenas condiciones, éste se limpiará y enderezará colocando nuevos estribos.

Las varillas del refuerzo longitudinal se unirán por medio de conectores mecánicos y se anclarán en la losa. Las especificaciones de estos conectores deberán mencionar que son adecuados para transmitir elementos mecánicos del tipo cíclico reversible, lo que caracteriza a las acciones sísmicas.

5.- Cimbrado de los costados de los pilotes con las dimensiones mostradas en la figura 4.1 y ábaco de 50 cm de peralte.

6.- Inyección de concreto con $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ elaborado con cemento tipo II, por una de las cajas de la parte superior de la losa hasta que el concreto alcance el nivel superior de la losa en los tres orificios de expulsión.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Con este detalle de rehabilitación se garantiza que los empates de las varillas longitudinales se hacen correctamente, además que el ábaco incrementa los lados del perímetro crítico $c_2 + 3h$, con lo cual se disminuyen los esfuerzos cortantes actuantes en la transmisión de momento de la unión losa-pilote.

IV.2 REHABILITACION DE PILOTES FISURADOS.

En los pilotes fisurados, se sellarán las fisuras para evitar la corrosión del acero de refuerzo y restaurarles su resistencia original de proyecto.

El procedimiento para sellado de fisuras en zonas fuera del agua será el siguiente (A.P.I. y Zamudio, 1995):

- 1.- Preparación de la superficie. Se retirarán recubrimientos y sustancias extrañas por medio de cepillos de alambre. Se retirará el concreto suelto y en mal estado hasta descubrir el material sano. Se limpiará con chorro de agua a presión la zona por sellar hasta lograr su saturación.
- 2.- Perforar en ambos extremos de la fisura hasta encontrar el acero de refuerzo longitudinal del pilote.
- 3.- Abrir con cincel una cavidad en la fisura de 0.6 cm de ancho hasta encontrar el acero principal. Retirar partes sueltas con cepillo de alambre.
- 4.- Cimbrar las cuatro caras con cimbra metálica desarmable de 50 por 50 cm de lado y 30 cm de altura fijada con tornillos de presión (figura 4.2).

- 5.- Inyectar por el orificio de la cimbra el producto Festergrout N.M. a presión.
- 6.- Aplicar dos capas impermeables del producto XYPEX (A.P.I. y Zamudio, 1995) de un ancho de 10 cm a todo lo largo de las fisuras selladas.

El procedimiento para el sellado de fisuras en las zonas sumergidas es similar al anterior, la diferencia es que se utilizará un material epóxico FX-764 (A.P.I. y Zamudio, 1995) que tiene buenas propiedades para evitar la corrosión.

IV.3 REHABILITACION DE LA JUNTA DE CONSTRUCCION.

Los choques que se produjeron entre los tramos del muelle no provocaron daños estructurales en la losa, sólomente causaron aplastamiento del material usado en el relleno de las juntas y agrietamientos en el firme de rodamiento.

La rehabilitación de la junta de construcción, consistirá en retirar el material de relleno actual y colocar en su lugar un material flexible que impida el deterioro del muelle.

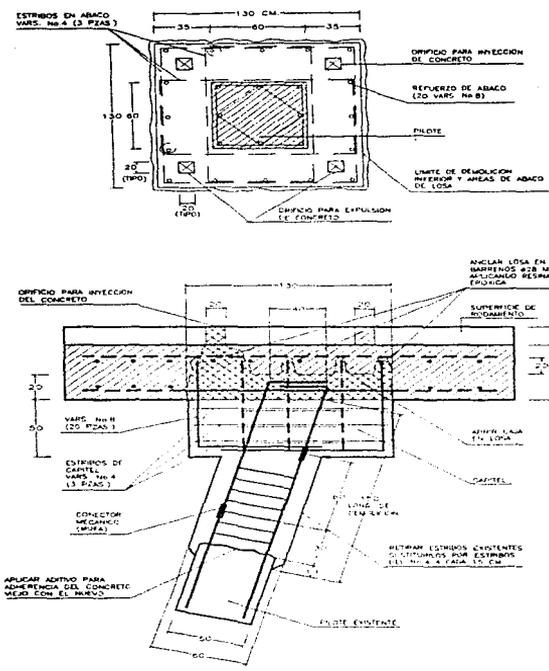


Figura 4.1 Detalles para la rehabilitación sísmica de pilotes del muelle

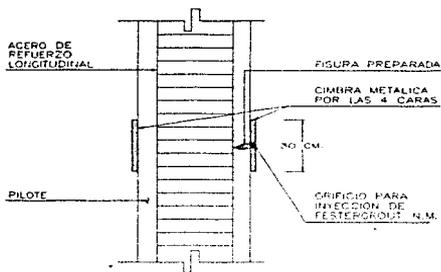


Figura 4.2 Detalle para la reparación de fisuras en pilotes

V CONCLUSIONES

V CONCLUSIONES.

1.- El sismo del 9 de octubre de 1995, el cual tuvo una magnitud de 7.9 en la escala de Richter, provocó daños importantes en el muelle de la terminal especializada para contenedores del Puerto Interior de San Pedrito en Manzanillo, Colima.

2.- En el muelle de contenedores se realizó un levantamiento de daños para la evaluación de éstos. Se encontrarán 29 pilotes fracturados con daño estructural, lo cual representa alrededor del 3 % del número total de pilotes del muelle; 164 pilotes con fisuras que no representan riesgo estructural (14 % del total de pilotes) y 53 desprendimientos de losa en la unión con los pilotes (4.53 % del total de los pilotes).

3.- En 26 de los pilotes fracturados, éstos tuvieron deficiencias constructivas, ya que fueron pilotes que después de hincados, tuvieron que aumentarse en longitud con el fin de que el refuerzo longitudinal se pueda anclar en la losa.

4.- Durante el sismo se produjeron choques entre los módulos que componen el muelle, los que causaron agrietamiento de la superficie de rodamiento y aplastamiento del material de relleno de la junta constructiva de 2 cm.

5.- Durante el sismo se presentaron deslizamientos importantes hacia el lado del mar del pedraplón que confina a los pilotes cercanos al lado de tierra, este pedraplón sirve como elemento de retención a los patios del muelle. Existen evidencias que muestran que estos deslizamientos causaron empujes laterales importantes en los pilotes del muelle.

6.- Se realizó un análisis estructural del muelle con el fin de evaluar su seguridad estructural, utilizando un modelo analítico tridimensional, considerando las acciones gravitacionales del proyecto original y las acciones sísmicas del reglamento de construcciones vigente para Manzanillo (RCMan-93). La revisión estructural se elaboró con base en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-93).

7.- El período fundamental de la estructura calculado fue igual a 0.35 seg y corresponde al modo de traslación en el sentido longitudinal.

8.- Los desplazamientos máximos calculados en el centro de masa del módulo analizado, fueron 1.96 cm en la dirección longitudinal y 1.0 cm en la dirección transversal.

9.- La revisión por flexo-compresión de los pilotes muestra que aproximadamente 13 % de los pilotes se encuentran del lado de la inseguridad para combinaciones sísmicas.

La distribución de pilotes fracturados por efecto del sismo se parece mucho a la distribución de pilotes del lado de la inseguridad que se encontró en los estudios analíticos. Es de interés mencionar que la mayoría de estos pilotes se ubican cerca del lado de tierra del muelle.

10.- La revisión por cortante de los pilotes indica que éstos se encuentran del lado de la seguridad de acuerdo a las normas vigentes.

11.- La revisión por cortante en la losa considerando la transmisión de momento entre los pilotes y la losa, así como la revisión de la transmisión de momento en la zona de la losa crítica con un ancho $c_2 + 3h$, indica que bajo estas condiciones de diseño los elementos estructurales se encuentran del lado de la seguridad de acuerdo a las normas vigentes.

13.- Se determinó rehabilitar el muelle siguiendo el criterio de restaurarle la resistencia del proyecto original.

14.- Con la rehabilitación propuesta en este estudio, el muelle se encuentra dentro de los límites de seguridad que estipulan reglamentos vigentes para las condiciones de operación normal; sin embargo se sugiere realizar una revisión estructural adicional considerando los empujes del pedraplén en condiciones sísmicas. Esta revisión se debe efectuar considerando además análisis con espectros de sitio, con el fin de determinar la seguridad estructural del muelle bajo estas condiciones, así como los detalles de refuerzo que probablemente serán necesarios.

VI REFERENCIAS

VI REFERENCIAS.

- 1.-AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard Specifications for Highway Bridges", 13 edition, (1983).
- 2.-A.P.I. y Zamudio, R. "Rehabilitación de la Subestructura del Muelle de la Terminal Especializada para Contenedores ubicada en el Puerto Interior de San Pedrito, Manzanillo", Proyecto Ejecutivo, Manzanillo, Colima, (dic,1995).
- 3.-C.F.E., Comisión Federal de Electricidad, "Manual de Diseño por Sismo", (1993).
- 4.-Flores,P:J:, Swan,S.W. y Hooper,J.D., "The Manzanillo, Mexico Earthquake of October 9, 1995", The Quarterly Publication of NCEER, vol.10, No.1, (enero,1996).
- 5.-MITSHUBISHI, "Calculation of Wheel Load for Puertos Mexicanos Container Crane", (sep,1991).
- 6.-NTCC, "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto", México,D.F.,(nov,1987).
- 7.-RCDF-93, "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", México, D.F., (1993).
- 8.-RCMan-93, "Reglamento de Desarrollo Urbano y Seguridad del H. Ayuntamiento Constitucional de Manzanillo, Col.", Manzanillo,Colima, (enero,1993).

9.-TGC Geotecnia S.A.. "Exploración Geotécnica para la Revisión de la Seguridad del Muelle y Patio de la Terminal Especializada de Contenedores Manzanillo", México, D.F., (dic,1995).

10.-TGC Geotecnia S.A. "Nota Técnica", México, D.F. (marzo,1996).