



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Aragón



**DISEÑO DE ATRAQUES PARA TUBERIAS
DE ALTA PRESION**

T E S I S NO SALE

DE LA BIBLIOTECA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ADAN SALGADO ANDRADE

San Juan de Aragón, Edo. de México

1982



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.

COU 138

SIST 29465



DEPARTMENT OF AGRICULTURE
BUREAU OF PLANT INDUSTRY

PLANT INDUSTRY

PLANT INDUSTRY

PLANT INDUSTRY

PLANT INDUSTRY

PLANT INDUSTRY

A mis padres.

A los oprimidos,
porque algún día todo cambiará.



UNIVERSIDAD NACIONAL
ARGENTINA

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

Sr. ADAN SALGADO ANDRADE
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 3 de abril del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JUAN ANTONIO GOMEZ VE LAZQUEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "DISEÑO DE ATRAQUES PARA TUBERIAS DE ALTA PRESION", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., junio 2 de 1981.
EL DIRECTOR


~~LIC. SERGIO ROSAS ROMERO~~

c.c.p. Coordinación de Ingeniería.
Unidad Académica.
Departamento de Servicios Escolares.

SRR:RTD/lla

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

INDICE

I.	INTRODUCCION	
II.	DATOS DE DISEÑO	4
II.1.	Características de las tuberías a alta presión	
II.2.	Características hidráulicas de la línea de conducción	
II.3.	Trazo de la línea de conducción	
II.4.	Localización de atraques	
II.5.	Estudios de mecánica de suelos	
III.	ANALISIS DE FUERZAS	13
III.1.	Consideraciones generales y fuerzas en el atraque X	
III.2.	Atraques enterrados y superficiales	
III.3.	Atraques en cambios de dirección	
III.4.	Atraque en cambios de pendiente	
III.5.	Atraque en cambios de sección	
III.6.	Atraque en cambios de pendiente y dirección	
III.7.	Atraque en tramos rectos	
III.8.	Atraque en bifurcaciones	
III.9.	Sistemas de tuberías	
III.10.	Ejemplos	
IV.	DISEÑO DEL ATRAQUE	53
IV.1.	Proporcionamiento del atraque	
IV.2.	Fuerzas adicionales en el atraque	
IV.3.	Condiciones de estabilidad	
IV.4.	Revisión por esfuerzos sobre el terreno	
IV.5.	Empotramiento del tubo al atraque	
IV.6.	Armado del atraque X	
IV.7.	Atraques sobre pilotes	
IV.8.	Ejemplos	
V.	CONCLUSIONES	101
	BIBLIOGRAFIA	102

I. INTRODUCCION.

La necesidad de dotar de servicios públicos a las ciudades, en especial aquellas cuyo desmesurado crecimiento demográfico -llamadas megalópolis- provoca gigantescas concentraciones humanas, como es el caso de México, hace necesarias obras de ingeniería cada vez más complejas, sofisticadas, aparatosas, descomunales y cuyo tiempo de construcción es de años. Obras de este tipo son, por ejemplo el sistema de drenaje profundo o las líneas de conducción de agua potable.

La explosión demográfica demanda un incremento paralelo de los servicios públicos; uno de ellos es el abastecimiento de agua potable que requiere de gastos considerablemente enormes y, por tanto, de estructuras de captación y conducción con capacidad suficiente para satisfacer la demanda. El conjunto de las obras de abastecimiento de agua potable comprende estructuras tales como: obras de toma, líneas de conducción (gravedad o presión), plantas de bombeo, plantas de potabilización, torres de oscilación, tanques de almacenamiento, etc.

Las tuberías de las líneas de conducción en muchos tramos operan bajo grandes presiones, por lo que se conocen como tuberías de alta presión; se fabrican en acero por ser el material que mejor resiste las grandes presiones internas. Es importante señalar que el concreto armado prácticamente no se emplea para fabricar éstas

tuberías, pues el refuerzo requerido sería tan denso que se llegaría a sustituir por placas de acero, debido a que se trabaja a tensiones internas muy altas y el concreto no resiste tensiones.

Las tuberías de alta presión, por lo general, se construyen superficialmente y parten de plantas de bombeo. En el trazo, la línea de conducción sufre cambios de pendiente y/o dirección; en estos puntos se empotra la tubería mediante atraques, en tanto que en puntos intermedios la tubería solamente se apoya sobre silletas (apoyos móviles), las cuales le permiten desplazamientos longitudinales producidos por los cambios de temperatura. Sin embargo, aun tramos rectos requieren, en ocasiones, de atraques, como se verá después. Las silletas sólo sirven como apoyo de la tubería, sin absorber las fuerzas por presión, en tanto que los atraques apoyan y fijan a la tubería, además de absorber las fuerzas generadas, o sea, deben garantizar una fijación adecuada que impida los movimientos longitudinales debidos a las fuerzas que originan las cargas hidrostáticas, los cambios de temperatura, los efectos dinámicos del agua, el peso de la tubería y las deflexiones y los cambios de sección de la misma.

Los atraques son, pues, estructuras de fijación muy importantes, ya que de ellos depende la estabilidad y el apoyo de la tubería. Se construyen con concreto simple, concreto armado o bien de piedra. El dimensionamiento de ellos depende de la fuerza resultante de empuje que se genera.

Los criterios para la localización de los puntos de empotramiento, el análisis de las fuerzas que intervienen y el diseño de los atraques es el objetivo del presente trabajo.

En el primer capítulo se detallan las características de las líneas de conducción, se identifican los puntos de localización de atraques, además de describir los datos de diseño necesarios como presión, diámetro de tubería, capacidad admisible del terreno, -- etc. En el segundo capítulo se analizan el conjunto de fuerzas que intervienen dentro del diseño del atraque, con todas las variantes posibles de acuerdo con el punto de localización del atraque; por último en el tercer capítulo, se expone el criterio a seguir en el diseño del atraque desde su proporcionamiento, hasta el dimensionamiento final para proyecto constructivo, incluyendo el empotramiento del tubo al atraque.

II. DATOS DE DISEÑO.

En el presente capítulo expondremos el conjunto de datos necesarios para el diseño de los atraques.

II.1. Características de las tuberías a alta presión.

Como ya señalamos, las tuberías de las líneas de conducción operan bajo grandes presiones; de acuerdo con la experiencia se denominan altas presiones aquellas superiores a 60 ton/m^2 (6 kg/cm^2), pero aun las tuberías que operan a presiones menores de dicho valor necesitan de atraques que las fijen al terreno y absorban las fuerzas producidas. Las tuberías de alta presión se fabrican de acero inoxidable, que ofrece gran resistencia y la ventaja de obtener espesores pequeños. Esta característica es muy importante, pues aunado al ahorro de material, se obtienen tubos más ligeros de gran diámetro y a un costo relativamente bajo.

La fabricación industrial de las tuberías de acero no es complicada, ya que se logra torneando placas de acero del espesor deseado a la forma y diámetro del tubo el que después se solda a lo largo de la línea de unión.

La línea de conducción requiere también de piezas especiales de acero como son los anillos atezadores, las juntas de dilatación y los codos. Los anillos atezadores se usan para aumentar la resistencia del tubo a las presiones, sin aumentar el espesor de éste.

lo que ahorra cantidades considerables de material y peso; también sirven como puntos de fijación de la tubería con los atraques y -- las silletas. Las juntas de dilatación tienen la función de absorber las dilataciones longitudinales de la tubería debida a los cam bios térmicos. Por último, los codos se colocan en los cambios de pendiente y/o dirección de la tubería.

Las tuberías de alta presión pueden ser superficiales o enterradas; en el primer caso las condiciones son más desfavorables, pues la estabilidad de la línea depende por completo de los atraques y, en menor grado, de las silletas, en tanto que al estar enterrada, la tubería descansa sobre el terreno y la estabilidad se consigue conjuntamente con el empuje pasivo del suelo y con la acción de - los atraques.

El trazo de las líneas de conducción no siempre es recto, sino que sufre constantes quiebres y deflexiones, propiciados por la - topografía. En los puntos con cambio de dirección, es necesaria - la colocación de codos de acero cuyo diseño se hace de acuerdo al diámetro de la tubería y a la deflexión requerida, al mismo tiempo que son lugares obligados para la colocación de atraques.

La presión de trabajo se logra mediante el empleo de plantas de bombeo cuando no es posible conducir el agua por gravedad. En ocasiones se colocan mecanismos que reducen la presión, tales -- como válvulas de alivio o torres de oscilación.

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

El mantenimiento de las tuberías debe ser constante; durante su instalación deben recubrirse con pintura epóxica y en algunos casos con aislantes térmicos.

Todas las características mencionadas deben tomarse en cuenta al diseñar los atraques -o silletas- ; además de consultarse los planos en los que se tengan las plantas y los perfiles del trazo de la línea, para visualizar el problema de un modo general y situar los atraques que resulten necesarios. También se tomará en cuenta si la línea es enterrada, superficial, características del terreno, características hidráulicas de la línea y otros factores que iremos señalando mas adelante.

II.2. Características hidráulicas de la línea de conducción.

Las características hidráulicas de la línea de conducción se refieren a los factores debidos al agua que producen los efectos estáticos y dinámicos en la tubería. Al diseñar los atraques, deberemos considerar los siguientes elementos: gasto, velocidad, presión, diámetro, espesor del tubo y ubicación de los anillos -atiezadores. Los tres primeros se emplean en el cálculo de las fuerzas que actuan, en tanto que los restantes proporcionan las magnitudes físicas del tubo que intervienen en el cálculo de dichas fuerzas, además de que sirvan como guía para proporcionar el tamaño del atraque. En seguida definiremos cada concepto.

GASTO: Es el volumen de agua que pasa por una sección de área transversal del tubo en un tiempo determinado. Generalmente se mide en m^3/s (metros cúbicos por segundo) y para efectos de diseño, - se usará el gasto máximo estimado.

VELOCIDAD: Es la rapidez de desplazamiento del agua dentro del tubo y se mide en m/s ; se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{A}$$

en donde V es la velocidad en m/s , Q es el gasto máximo de diseño en m^3/s y A es el área transversal del tubo.

PRESION: Es la fuerza ejercida mediante la carga de agua por cada unidad de área transversal, ésto significa que entre mayor sea la columna de agua, expresada en metros, mayor será la presión; se expresa en t/m^2 (toneladas por metro cuadrado). Como ya señalamos, se considera alta presión aquella superior a $60 t/m^2$. En cada punto de análisis podemos calcular la presión ejercida mediante la siguiente expresión:

$$P = H$$

en donde P es la presión en t/m^2 , H es la altura en metros de la columna de agua, obtenida a partir de la diferencia de niveles --

entre el punto más alto y el punto de análisis y es el peso específico del agua en t/m^3 .

DIAMETRO DEL TUBO: Este es el diámetro interior, es decir, sin considerar el espesor. Depende del gasto requerido y de la presión así como del valor de la velocidad, procurando siempre la operación con bajas velocidades. Se expresa en metros o en centímetros.

ESPESOR DEL TUBO: Es el grosor de las paredes del tubo. Su diseño depende de la presión máxima requerida; a la cual se le afecta por factores de seguridad adecuados que involucren efectos de sobrepresiones, empujes de tierra -como las tuberías enterradas-, etc.

ANILLOS ATIEZADORES: Tienen la finalidad de proporcionar mayor resistencia y rigidez a la tubería sin necesidad de aumentar el espesor; así logramos un ahorro considerable de material y de peso de los tramos de tubo.

Los anillos atiezadores se colocan en tramos espaciados de longitud constante a lo largo de toda la tubería, lo que permite que sirvan como puntos de apoyo y fijación de la tubería al terreno, mediante el uso de silletas de concreto para tuberías superficiales. La colocación de los atraques toma en cuenta la ubicación de los anillos.

II.3. Trazo de la línea de conducción.

El trazo de la línea de conducción se hace sobre planos topográficos, con la finalidad de ubicar las fuentes de abastecimiento -ríos, manantiales, pozos, presas- y la ruta más cercana entre éstas y su destino. En algunos casos desvia el trazo original, si se presentan accidentes topográficos -cerros, hondonadas, etc- que pudieran dificultar la construcción y aumentar los costos de la misma.

Una vez localizada la tubería sobre planos topográficos a una escala que permita apreciar la línea en su totalidad, se deberán realizar a detalle y a escalas mayores, perfiles del trazo que -muestren el diseño exacto de la tubería con todas sus deflexiones, tanto horizontales como verticales así como la ubicación de los -anillos atezadores, los puntos en donde se precise de atraques, el diámetro del tubo, el peso de las piezas, las dimensiones necesarias etc.

II.4. Localización de atraques.

Hemos visto que el trazo de la línea no es siempre sobre una trayectoria recta, sino que sufre cambios de dirección horizontales y/o verticales, en los que se generan fuerzas considerablemente mayores que en los tramos rectos, por lo cual son puntos de empotramiento o de atraque imprescindible. Aun cuando existen tramos rectos, pueden requerirse atraques, sobretodo si se trata de tramos demasiado largos, en pendiente o con cambio de diámetro.

A continuación se mencionarán los casos en los cuales se requiere ubicar atraques:

a).- Deflexión horizontal. La tubería cambia de dirección debido al trazo de la línea.

b).- Deflexión vertical. La tubería modifica su eje verticalmente debido al cambio de pendiente que exijan las condiciones topográficas.

c).- Deflexión combinada. Los dos casos anteriores se presentan simultáneamente, es decir, se tiene cambio de dirección y de pendiente.

d).- Cambio de diámetro. La tubería modifica su sección, ya sea de mayor a menor o viceversa. En la mayoría de los casos debe buscarse colocar los cambios de diámetro en tramos rectos, pero si --llegarán a presentarse en quiebres, el análisis de las fuerzas podrá efectuarse combinando los procedimientos indicados en cada caso particular.

e).- Tramos rectos. En el caso que se presenten tramos rectos demasiado largos, horizontales o en pendiente, se deberán situar atraques en los puntos que defina el proyectista. De acuerdo con la experiencia, se estima que en tramos rectos largos será necesario atracar cada 150 m. de longitud; esta distancia será menor --cuando el tramo esté en pendiente.

Los casos anteriores pueden presentarse tanto en tuberías superficiales como enterradas, con la ventaja de que en estas últimas el empuje pasivo del terreno se aprovecha como ayuda adicional para contrarrestar las fuerzas producidas y para fijar la tubería, como veremos mas adelante.

II.5. Estudios de mecanica de suelos.

En todo problema de ingeniería, sólo puede lograrse un análisis confiable cuando se cuente con información precisa, veraz y completa. En nuestro caso, hemos mencionado ya los datos referentes a la línea de conducción, necesarios a nuestro análisis, pero no podríamos dejar a un lado la información que proporciona la mecánica de suelos.

Es conveniente efectuar estudios que nos proporcionen los datos siguientes:

- a). Capacidad de carga del terreno.
- b). Tipo del material (perfiles estratigráficos).
- c). Peso del material.
- d). Coeficiente de fricción (si es material friccionante).
- e). Coeficiente de cohesión (si es material cohesivo).
- f). Nivel freático.

La capacidad de carga del terreno debe ser el dato más preciso y confiable, pues de ello dependerá el diseño definitivo del ataque.

Se considera tolerable una resistencia igual o mayor a 10 t/m^2 , es decir, que no ofrece muchos problemas al diseño; dependiendo del análisis de fuerzas -peso de tubería, peso de agua, presión -hidráulica, etc-, un atraque desplantado es un terreno con resistencia menor a 10 t/m^2 podría requerir el uso de pilotes de cimentación, como se verá después.

Los datos restantes, aunque menos importantes, no dejan de ser necesarios.

III. ANALISIS DE FUERZAS.

En el análisis de las fuerzas emplearemos el método analítico o el gráfico para encontrar las resultantes totales que usaremos en el diseño de la estructura.

Se presentan todos los casos que se pueden encontrar, pero esta circunstancia no limita la explicación de los métodos empleados a un caso particular, pues la forma de análisis será la misma que habremos indicado.

Ilustramos el presente capítulo con una serie de ejemplos al final del mismo.

III.1. Consideraciones generales y fuerzas en el atraque.

Para hallar las resultantes totales harémos las siguientes consideraciones:

i). El atraque se tomará como un empotramiento al que inciden dos tubos.

ii). Se considerará nulo el efecto de ayuda que aporten las silletas -apoyos libres- ,

iii). Las longitudes de tubería tributarias a cada atraque, se considerarán como las existentes entre juntas de expansión, es

decir, por cada par de juntas de expansión existirá un atraque -- (fig. 1.3.).

Para encontrar las resultantes de diseño, nos valdrémos de una serie de fuerzas independientes de las deflexiones del tubo y que se generan de las características hidráulicas y físicas de éste.

Enunciaremos a continuación los elementos hidráulicos y físicos que intervienen en el cálculo de las fuerzas independientes generadas.

h = Altura máxima de carga incluyendo golpes de ariete.

A = Area de la sección del tubo en el atraque.

α_1 = Angulo vertical del eje de la tubería con la horizontal, aguas arriba del atraque.

α_2 = Angulo vertical del eje de la tubería con la horizontal, aguas abajo del atraque.

P_1 = Peso del tubo desde el atraque hasta la junta de expansión hacia aguas arriba.

W = Peso del agua contenida en el tubo P_1 .

P'_1 = Peso del tubo desde el atraque hasta la junta de expansión aguas abajo.

W' = Peso del agua contenida en el tubo P'_1 .

P' = Peso del tubo y agua contenida desde el atraque hasta el apoyo inmediato superior -silleta-.

Coste de
Instalación

Anillos
Atrazadores

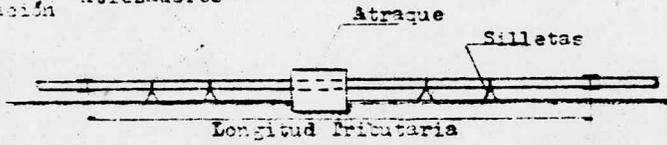
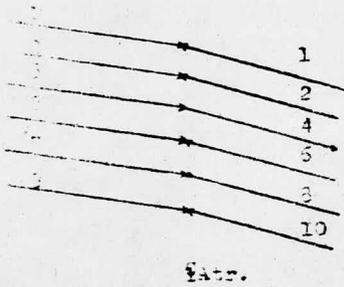
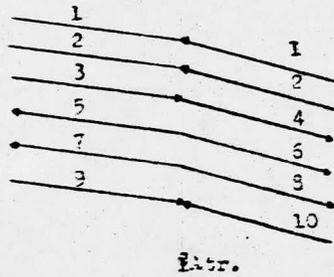


fig. 1.3.



Expansión



Contracción

fig. 2.3.

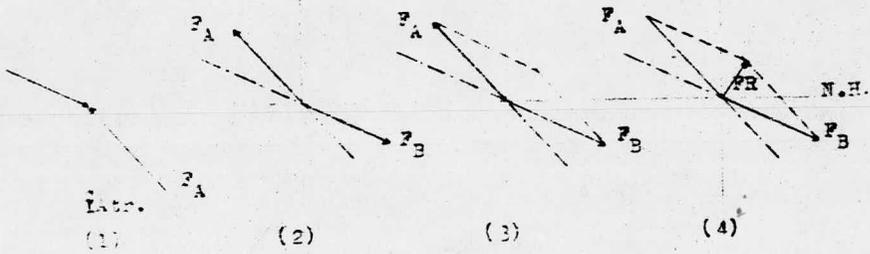


fig. 3.3.

- P'' = Peso del tubo y agua contenida desde el atraque hasta el apoyo inmediato inferior -silleta-.
- γ = Peso específico del agua.
- D = Diámetro interior o nominal del tubo.
- a = Area de la sección transversal de la pared del tubo hacia arriba de la junta de expansión.
- a' = Area de la sección transversal de la pared del tubo hacia abajo de la junta de expansión.
- b = Ancho del estopado -o empaque también- en la junta de expansión.
- t = Espesor del tubo.
- Q = Gasto que circula por el tubo (volumen).
- V = Velocidad del agua.
- g = Aceleración de la gravedad.
- F_1 = Coeficiente de fricción entre el tubo y los apoyos.
- F_2 = Coeficiente de fricción entre el tubo y el estopado de la junta de expansión.
- C = Peso del atraque.

Con los elementos anteriores, podemos definir las fuerzas que actúan independientemente sobre el atraque:

1). Fuerzas hidrostáticas actuando según el eje del tubo en cada lado del codo.

$$F_1 = Ah\gamma$$

2). Fuerza dinámica actuando contra el lado exterior del codo.

$$F_2 = \frac{QV}{g} \gamma$$

3). Componente del propio peso de la tubería arriba del atraque según su propio eje.

$$F_3 = P_1 \text{sen } \alpha_1$$

4). Componente del peso propio de la tubería abajo del atraque según su eje.

$$F_4 = P_1' \text{sen } \alpha_2$$

5). Fuerza de fricción en los apoyos debida a la expansión o contracción del tubo aguas arriba.

$$F_5 = f_1 \cos \alpha_1 \left(P_1 + W - \frac{P_1'}{2} \right)$$

6). Fuerza de fricción en los apoyos debida a la expansión o contracción de la tubería aguas abajo.

$$F_6 = f_1 \cos \alpha_2 \left(P_1' + W' - \frac{P_1''}{2} \right)$$

- 7). Fuerza de fricción en la junta de expansión colocada aguas arriba.

$$F_7 = f_2 \pi (D+2t) b h \gamma$$

- 8). Fuerza por fricción en la junta de expansión colocada aguas abajo.

$$F_8 = f_2 \pi (D+2t) b h \gamma$$

- 9). Fuerza debida a la presión actuando sobre la extremidad del tubo en la junta de expansión situada aguas arriba.

$$F_9 = \gamma a h$$

- 10). Fuerza debida a la presión sobre la extremidad del tubo de la junta de expansión situada aguas abajo.

$$F_{10} = \gamma a' h$$

El rango de velocidad del agua en la tubería debe estar entre 2 y 3.5 m/s, para que el diseño resulte económico y funcional*. La máxima velocidad permitida será de 5 m/s, pues a velocidades mayores se tienen efectos por vibración. Velocidades menores a 2 m/s, resultan poco eficientes.

* Normas de la American Water Works Assosiation (A.W.W.A.).

Las fuerzas debidas a sismos, se calcularán mediante el coeficiente sísmico que corresponda a la región en estudio, los empujes de tierra también serán considerados en aquellos casos en que provoquen fuerzas adicionales.

Como ya señalamos, las fuerzas de la 1 a la 10, actúan por separado a cada lado del atraque y se consideran paralelas al eje del tubo; las fuerzas F_5 , F_6 , F_7 y F_8 son fuerzas por temperatura. Para correlacionarlas, nos valdrémos del diagrama que se muestra en la figura 2.3, que relaciona a todas las fuerzas en las dos posibles condiciones que por efectos de temperatura se presentarán, a saber:

- a). Condición de expansión: Es decir, cuando el tubo se dilata por la temperatura.
- b). Condición de contracción; O sea, cuando el tubo se contrae por la temperatura.

De éstos diagramas, podremos obtener la resultante a cada lado del eje del atraque dando valor positivo a las fuerzas que incidan a aquél y negativo a las que salgan. La resultante aguas arriba la llamaremos F_B , en tanto que la de aguas abajo la llamaremos F_A . El eje del atraque coincidirá en todos los casos con el punto de deflexión de la tubería.

Así, F_B para las condiciones de expansión y contracción será

respectivamente:

$$F_B \text{ exp.} = F_1 + F_2 + F_3 + F_5 + F_7 + F_9$$

$$F_B \text{ cont.} = F_1 + F_2 + F_3 - F_5 - F_7 + F_9$$

y F_A , para las mismas condiciones será:

$$F_A \text{ exp.} = F_1 + F_2 - F_4 + F_6 + F_8 + F_{10}$$

$$F_A \text{ cont.} = F_1 + F_2 - F_4 - F_6 - F_8 + F_{10}$$

La fuerza resultante de F_A y F_B la denominaremos resultante final de diseño, la cual podrá evaluarse por medio de dos métodos, uno analítico y el otro gráfico, como se verá más adelante, debiéndose elegir la mayor F_R de las dos condiciones para efectos de diseño.

La tabla 1 muestra los valores de f_1 para distintas condiciones:

Acero vs. concreto (pedestal que rodea al tubo parcial o totalmente)-----	0.60
Acero vs. concreto con papel asfaltado para techo, intermedio-----	0.50
Acero vs. concreto herrumbroso -----	0.50
Acero vs. acero engrasado -----	0.25
Acero vs. acero con dos capas de hojas grafitadas intermedias -----	0.25
Acero vs. bronce seco -----	0.152
Bronce vs. bronce seco -----	0.199
Bronce vs. bronce untuoso -----	0.133
Soportes de balancín deteriorados -----	0.15
Soporte de rodillos deteriorados -----	0.10
Acero sobre tierra (tuberías enterradas) -----	1.00

TABLA 1

De acuerdo con la situación que se presente, podremos calcular F_5 y F_6 tomando el valor de f_1 más adecuado.

El valor de f_2 no está tan bien definido. Sin embargo, se estima entre 0.060 y 0.11 para presiones hidráulicas entre 1 y 50 kg/cm² -10 a 500 ton/m²- y de 0.25 para las peores condiciones.

De acuerdo con la presión máxima que se tenga, se podrá elegir el valor de f_2 más adecuado interpolando entre los rangos anteriores para calcular F_7 y F_8 .

El resto de las fuerzas podrá evaluarse de acuerdo con las dimensiones de las tuberías y piezas especiales, así como de los datos hidráulicos que se cotejen en los planos correspondientes.

Una vez obtenido el par de resultantes tanto de la condición de contracción o de expansión emplearemos el método gráfico y/o el analítico para obtener la fuerza resultante final de diseño FR de cada uno y la mayor será con la que diseñemos el atraque. Ambos métodos se desarrollarán aplicando el sistema de ejes cartesianos, en los cuales la ordenada o eje 'y' será el eje del atraque, en tanto que la abscisa o eje 'x' será el nivel horizontal.

I). METODO GRAFICO.

El método gráfico o del paralelogramo consiste en dibujar el par de fuerzas F_A y F_B obtenido a escala, desplazarlas sobre su línea de acción hasta hacer coincidir su origen con la intersección del eje del atraque y el nivel horizontal (N.H), trazar paralelas de cada una de ellas partiendo del punto final de cada una y, por último, trazar una diagonal que parta de la intersección de ambas y finalice en el punto de intersección de las paralelas; esta diagonal será la resultante final de diseño FR y podremos medir su valor de acuerdo a la escala fijada. La secuencia del método se ilustra en la figura 3.3.

En ocasiones para facilitar los cálculos, harémos uso de las componentes rectangulares de la resultante final de diseño, las que podremos obtener de la proyección de aquella hacia los ejes cartesianos y midiendo a escala los segmentos obtenidos. La secuencia se ilustra en la fig. 4.3.

·II) METODO ANALITICO.

Consiste en obtener las componentes rectangulares o cartesianas de la resultante final de diseño mediante el análisis trigonométrico. En la figura 5.3, hemos desplazado las resultantes de forma que su origen coincide con la intersección del eje del atraque y el nivel horizontal, se conocen también los ángulos respecto al eje horizontal α_1 y α_2 respectivamente. Empleando relaciones trigonométricas y considerando los ejes cartesianos, como hemos señalado, obtenemos que:

$$FR_x = -F_A \cos \alpha_2 + F_B \cos \alpha_1$$

y

$$FR_y = -F_B \sin \alpha_1 + F_A \sin \alpha_2$$

la fuerza resultante final de diseño FR, será entonces:

$$FR = \sqrt{FR_x^2 + FR_y^2}$$

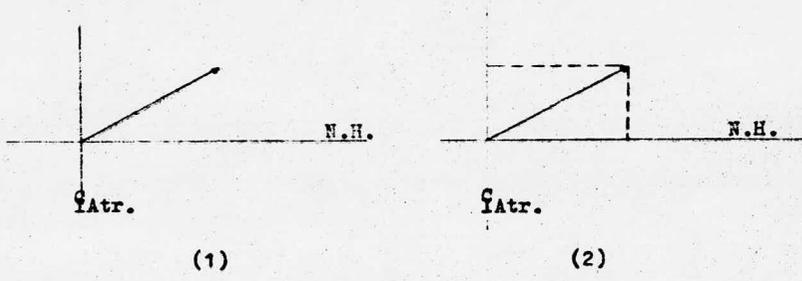


fig 4.3.

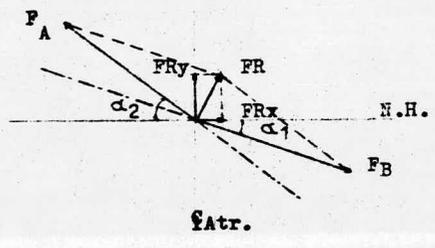


fig. 5.3.

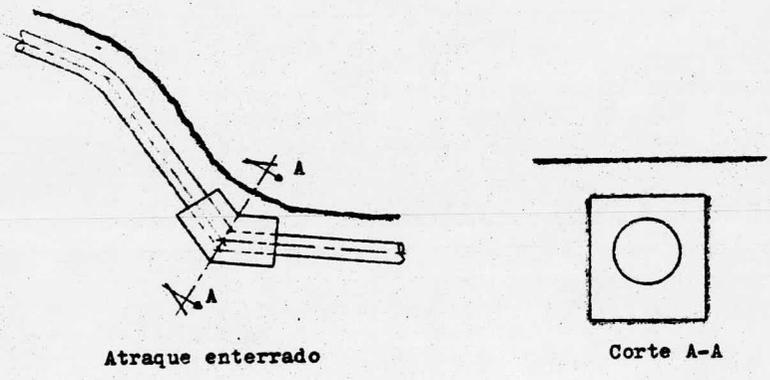


fig. 6.3.

. III.2. ATRAQUES ENTERRADOS Y SUPERFICIALES.

Definiremos como atraque enterrado aquel que se localiza en deflexiones de la tubería cuando ésta se coloque en trincheras que después sean rellenadas. Generalmente en tramos rectos horizontales de tubería enterrada no se colocan atraques, a menos que las presiones de trabajo sean bastante grandes.

En los atraques enterrados, el empuje producido por los rellenos constituye una ayuda extra para contrarrestar las fuerzas generadas por la tubería, como veremos más adelante. En la fig. 6.3 se muestra un atraque enterrado.

Los atraques superficiales serán aquellos adosados a tuberías que guardan cierta distancia entre su parte inferior y el terreno. En la fig. 7.3 se ilustra un atraque superficial.

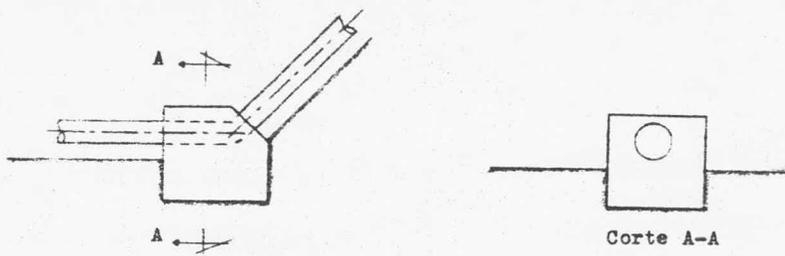
III.3. ATRAQUE EN CAMBIOS DE DIRECCION.

Diremos que la tubería experimentará un cambio de dirección cuando su eje defleccione en forma horizontal. Si la tubería lleva cierta inclinación:

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

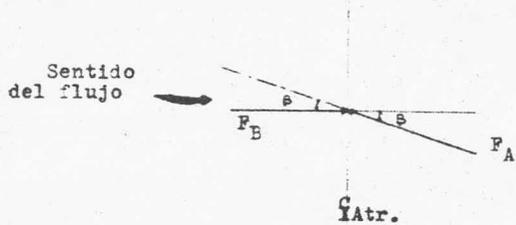
Pero si es horizontal,

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0$$



Atraque Superficial

fig. 7.3.



Planta

fig. 8.3.

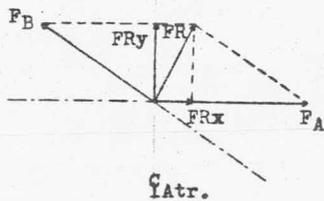


fig. 9.3.

$$F_3 = 0$$

$$F_4 = 0$$

Si consideramos el sentido del flujo de izquierda a derecha, nuestra abscisa de referencia, vista en planta, será el eje del tubo a la izquierda del centro de línea del atraque, y representará al ángulo horizontal de la deflexión; la resultante aguas arriba F_B estará a la izquierda, en tanto que la resultante aguas abajo F_A estará a la derecha, como se ve en la fig. 8.3. De la misma, y de acuerdo con el método analítico de la sección III.1, deducimos que:

$$FR_x = F_B - F_A \cos \beta$$

y

$$FR_y = F_A \operatorname{sen} \beta$$

Al aplicar el método del paralelogramo, obtendremos resultados similares. En la fig. 9.3 se ilustra el desarrollo del método.

En el capítulo IV incluiremos las fuerzas adicionales generadas por sismo y por empujes de tierra que deberán sumarse a FR para el diseño definitivo del atraque.

III.4. ATRAQUE EN CAMBIOS DE PENDIENTE.

Tendremos un cambio de pendiente, cuando la tubería experimente una deflexión vertical. En este caso, no siempre $\alpha_1 = \alpha_2$, pues el eje del tubo a la

izquierda del centro de línea del atraque puede llevar cierto ángulo respecto de la horizontal antes de sufrir un nuevo cambio de pendiente.

El análisis necesario para hallar la fuerza resultante final de diseño FR se realizará de acuerdo con los métodos gráficos y analíticos descritos en la sección III.1, que se ilustran en las figuras 3.3, 4.3 y 5.3.

Como hemos señalado, cuando el atraque sea enterrado, los rellenos actuarán favorablemente a esté; más adelante indicaremos la forma de analizar las fuerzas producidas por los rellenos.

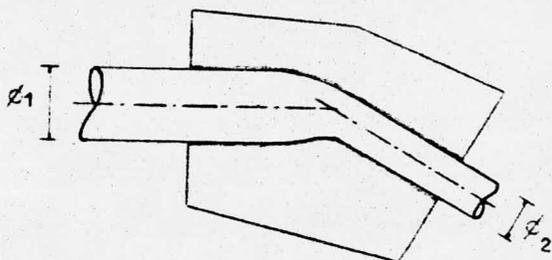
III.5. ATRAQUE EN CAMBIOS DE SECCION.

Hablaremos de cambio de sección cuando la sección transversal de la tubería se amplíe o se reduzca. Desde luego que sólo habrá fuerzas adicionales por empuje en el caso de una reducción, es decir, cuando en la dirección del flujo se presente un diámetro menor de tubería. Si a la inversa, en la dirección del flujo se presenta una ampliación, no se desarrollarán fuerzas adicionales.

Generalmente, las reducciones de diámetro se localizan en las deflexiones de la tubería (fig. 10.3) ya sean horizontales, verticales o ambas, por lo que deberemos considerar la fuerza adicional por empuje conjuntamente con las fuerzas 1 a 10, al obtener F_A y F_B .

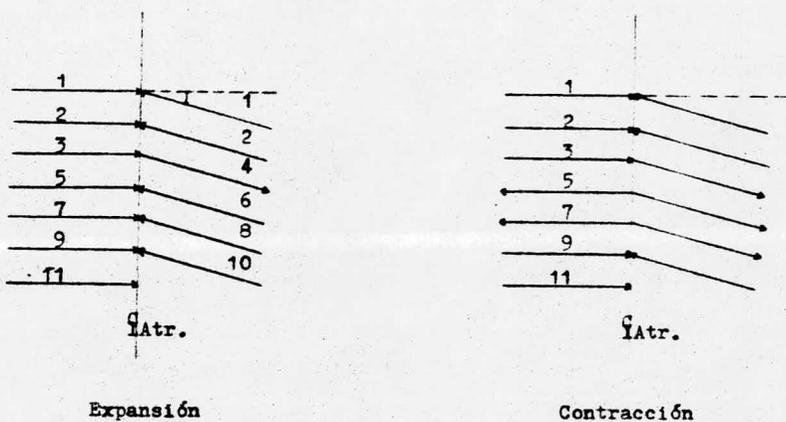
La fuerza adicional de empuje producida por la reducción será:

$$F_{11} = (A - A') \gamma h$$



Cambio de sección en cambio de dirección

fig. 10.3.



Expansión

Contracción

fig. 11.3.

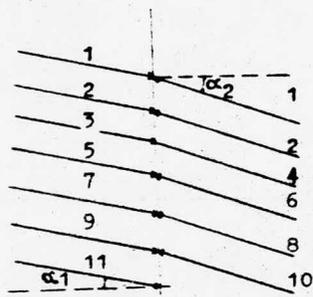
donde A es el área de la sección mayor y A' el área de la menor.

Al agregar la fuerza F_{11} , los diagramas de correlación quedarán como se ilustra en la figura 11.3 para tubería inclinada con cambio de dirección, y en la fig. 12.3, para tubería inclinada con cambio de pendiente. La dirección de F_{11} será siempre la del flujo. La aplicación de los métodos gráfico y/o analítico para obtener FR, se realizarán como ya anteriormente se ha descrito.

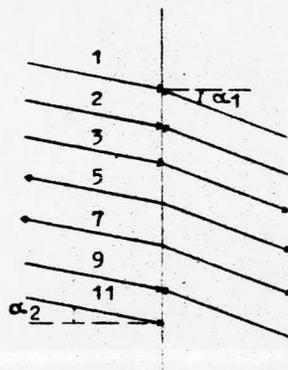
III.6. ATRAQUE EN CAMBIOS DE PENDIENTE Y DIRECCION.

Diremos que un atraque sufre cambio de pendiente y dirección -deflexión combinada- cuando experimente alteraciones simultáneas tanto horizontal como verticalmente. En la figura 13.3 se muestra una deflexión de este tipo.

Para obtener la fuerza resultante final de diseño FR emplearemos el método gráfico del paralelogramo como sigue: una vez obtenidas las fuerzas de la F_1 a F_{10} y el par de resultantes F_A y F_B de las condiciones de expansión y contracción, obtendremos las componentes rectangulares respectivas en el plano vertical, es decir, analizando la tubería en elevación. De esta forma obtendremos para la resultante aguas abajo F_A , las componentes rectangulares e-f, en tanto que para la resultante aguas arriba F_B serán c-d, tal como se muestra en la figura 14.a.3. Al sumar algebraicamente las fuerzas verticales e y d, obtendremos la fuerza r_1 (fig. 14.b.3.). Las fuerzas horizontales f y c guardan un ángulo θ entre ellas que corresponde al cambio de dirección de la tubería, como se ve en la figura 15.a.3, en donde se muestra la planta de la deflexión. Aplicando la ley del paralelogramo obtendremos la fuerza r que es la resultante



Expansión



Contracción

fig. 12.3.

de f y c . La fuerza r , vertical, saldría perpendicular al papel e incidente al origen O de la figura 15.a.3.

Finalmente, en elevación y en dirección al plano $m-m$ el plano de r veríamos las fuerzas como se muestra en la figura 15.b.3; aplicando nuevamente la ley del paralelogramo obtendremos la fuerza resultante final de diseño FR .

III.7. ATRAQUE EN TRAMOS RECTOS.

Llamaremos tramo recto aquella longitud de tubería que no sufra cambios de dirección ni de pendiente. Generalmente se hacen necesarios los atraques en tramos rectos para absorber las fuerzas por temperatura que se generan y también para absorber las componentes axiales del peso del tubo en el caso de tuberías inclinadas. Se estima, como señalamos, que a cada 150 metros de tubería recta se deberá colocar un atraque localizado a la mitad de la longitud existente entre cada par de juntas de dilatación. Las fuerzas por temperatura se despreciarán en el caso en que la tubería sea completamente horizontal, y se considerarán cuando aquella sea inclinada, pues ello implica diferencia de cargas en la junta aguas arriba y en la junta aguas abajo.

De manera similar, si el tubo es horizontal, el atraque solo servirá de apoyo, pero si es inclinado, soportará también las componentes axiales del peso del tubo.

Si consideramos un tramo recto inclinado, las fuerzas consideradas serán: F_3 y F_4 fuerzas axiales del peso, y F_5, F_6, F_7, F_8 , fuerzas por temperatura. Los diagramas por correlación quedarán como se muestra en la figura 16.3. La forma

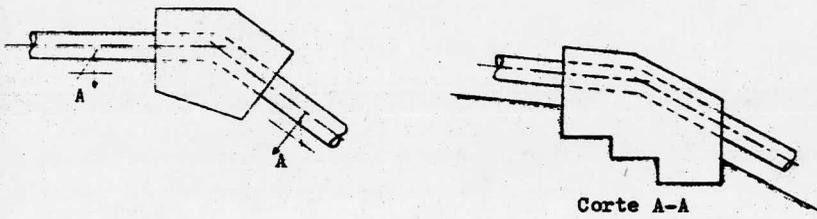
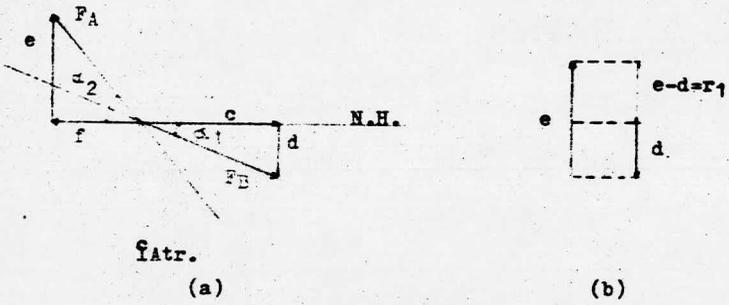


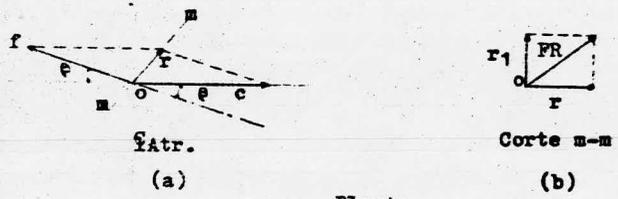
fig. 13.3.



fAtr. (a)

(b)

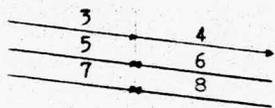
Elevación
fig. 14.3.



fAtr. (a)

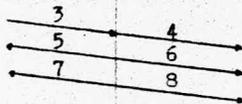
Corte m-m (b)

Planta
fig. 15.3.



$\Phi_{Atr.}$

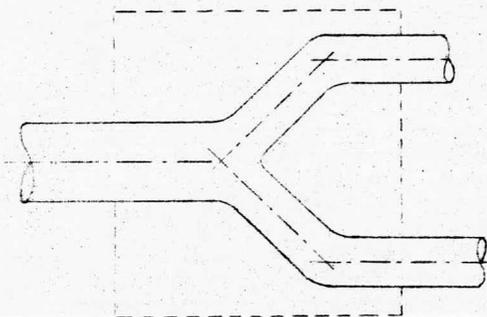
Expansión



$\Phi_{Atr.}$

Contracción

fig. 16.3.



Bifurcación Pantalón

fig. 17.3.

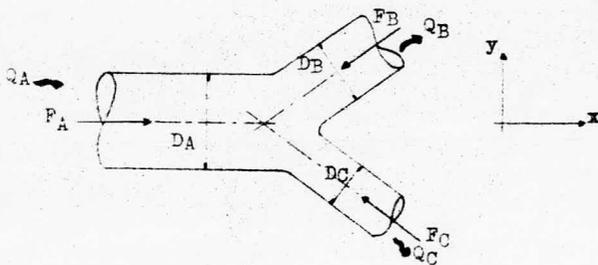


fig. 18.3.

de obtener FR podrá ser analítica o gráficamente, según hemos indicado.

Cuando el tubo se encuentre enterrado en la mayoría de las veces se prescindirá de atraque, excepto que esté demasiado inclinado o que las condiciones del terreno sean tan malas que no garanticen la estabilidad de la tubería.

III.8. ATRAQUE EN BIFURCACIONES.

Diremos que una tubería se bifurcará cuando en un punto dado ésta se divide en dos o más líneas. La más común de este tipo es la llamada bifurcación "pantalon", en la que se combina una división en la tubería con un cambio de dirección de los tubos tributarios (ver fig. 17.3).

El análisis para obtener la fuerza resultante final de diseño FR se simplifica al cálculo de las fuerzas hidrostáticas y las fuerzas dinámicas de cada tubo por separado para luego obtener FR analítica o gráficamente.

Con referencia a la fig. 18.3, tendremos que F_A , F_B y F_C se calculan como sigue:

$$\begin{aligned} F_A &= \text{Fuerza hidrostática} + \text{Fuerza dinámica} \\ &= \frac{D_A^2}{4} \pi \gamma h + \frac{Q_A V_A}{g} \gamma \end{aligned}$$

de manera similar

$$F_B = \frac{D^2}{4} \pi \gamma h + \frac{Q_B V_B}{g} \gamma$$

y

$$F_C = \frac{B^2}{4C} \pi \gamma h + \frac{Q_C V_C}{g} \gamma$$

Despues procedemos a obtener las componentes rectangulares de F_B y F_C , tomando el eje del tubo principal como nuestra abcisa. De la fig. 19.a.3 podemos deducir que:

$$FR_x = F_A - (FC_x + F_{B_x})$$

y

$$FR_y = F_{C_y} - F_{B_y}$$

empleando el método del paralelogramo obtendremos finalmente FR (fig.19.b.3), o también:

$$FR = \sqrt{FR_x^2 + FR_y^2}$$

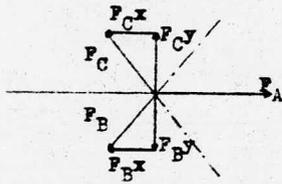
En el caso de que los tubos tributarios tengan el mismo diámetro y sufran la misma deflexión:

$$FR_y = 0$$

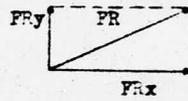
y por tanto

$$FR = FR_x$$

El análisis para la bifurcación "pantalón" incluirá también las fuerzas que se generan por el cambio de dirección, cuando éstos existan, de los tributarios

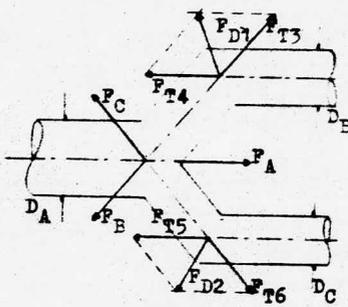


(a)

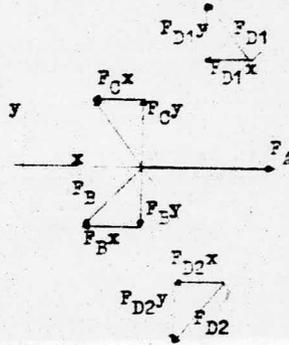


(b)

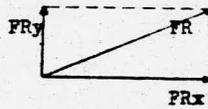
fig. 19.3.



(a)



(b)



$$PR_x = P_A - (F_{C_x} + F_{B_x} + F_{D1_x} + F_{D2_x})$$

$$PR_y = F_{D1_y} + F_{C_y} - (F_{D2_y} + F_{B_y})$$

(c)

fig. 20.3.

analizando cada uno por separado y combinando las fuerzas obtenidas con las fuerzas dinámicas e hidrostáticas arriba calculadas. El procedimiento se muestra en las figuras 20.a.3, 20.b.3 y 20.c.3.

III.9. SISTEMA DE TUBERIAS.

Entenderemos por sistemas de tuberías el caso en que una línea de conducción esté formada por dos o más tuberías. Generalmente se atracarán con una misma estructura cuando la distancia entre ejes no exceda de 2 veces el diámetro, pues con separaciones mayores es preferible atracar independientemente, pues resulta más económico.

Cuando la proximidad de los tubos esté dentro del margen señalado, podremos realizar el análisis de fuerzas por separado y después, bastará con combinar los resultados obtenidos. Los casos en que se deberá atracar son los que ya hemos señalado, por lo que no haremos mayor alusión al respecto.

A manera de conclusión, señalaremos que el análisis de las fuerzas se justificará cuando se trabaje con diámetros de tubería de 50 cm, en adelante. Los diámetros menores requerirán simples bloques de concreto.

III.10. EJEMPLOS.

Ejemplificaremos con los casos más comunes de cálculo de fuerzas para el diseño de atraques y en el siguiente capítulo retomaremos los aquí propuestos para diseñar el atraque en si.

En las figuras 21.3 y 22.3 se muestra el perfil y la planta de una línea de conducción de alta presión que parte de una planta de bombeo y llega hasta una torre de oscilación de donde el agua continua por gravedad. El diámetro de descarga de las bombas es de 1.83 m. y el diámetro de la conducción es de 1.60 m. pues resultó ser el más satisfactorio económica y funcionalmente. El gasto es de $6.8 \text{ m}^3/\text{s}$; las pérdidas y el golpe de ariete se estiman en 50 m. -altura de la torre de oscilación-. El espesor del tubo es de 3.0 cm. Las silletas se localizan a cada 10 m. a partir de las juntas de dilatación y el estopado 'b' es de 15 cm.

Los puntos A,B,C y D son los que analizaremos. Las condiciones de cada uno son las siguientes, según se observa en las figuras:

PUNTO A: Deflexión vertical y reducción de diámetro.

PUNTO B: Tramo recto largo e inclinado.

PUNTO C: Deflexiones horizontal y vertical.

PUNTO D: Deflexión horizontal.

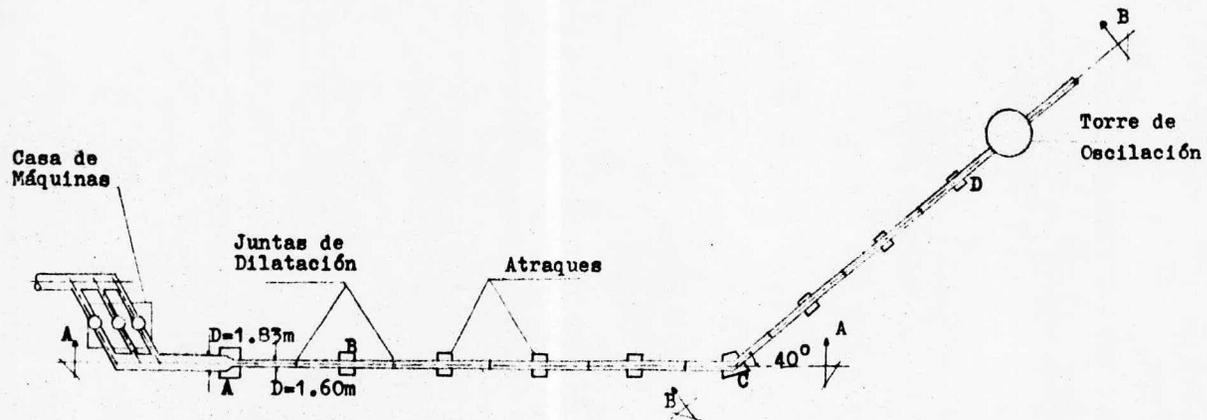
Los atraques localizados en los tramos rectos restantes podrán tomar como modelo el del punto B, pues es el más desfavorable al soportar mayor presión, como se observa en las figuras:

a).- Análisis de fuerzas para el punto A:

De acuerdo con la sección III.i, las fuerzas en cada tubo aguas arriba y aguas abajo de A, serán:

(1) Aguas abajo

$$\phi = 1.83$$



PLANTA

fig. 21.3.

$$A = \frac{(1.83)^2 \pi}{4} = 2.63 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{6.8 \text{ m}^3/\text{s}}{2.63 \text{ m}^2} = 2.6 \text{ m/s}$$

$$h_A = 350 \text{ m (de las figs. 21.3 y 22.3).}$$

-- Fuerza hidrostática

$$F_1 = A h_A \gamma = (2.63 \text{ m}^2) (350 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3) = 920.5 \text{ ton}$$

-- Fuerza dinámica

$$F_2 = \frac{QV\gamma}{g} = \frac{(6.8 \text{ m}^3/\text{s})(2.6 \text{ m/s})(1 \text{ ton/m}^3)}{9.81 \text{ m/s}^2} = 1.8 \text{ ton.}$$

-- Fuerza por peso propio del tubo,

El tubo aguas abajo de A es horizontal, por lo que $\alpha = 0$ y

$$F_4 = 0$$

-- Fuerza por fricción en las silletas

$$F_6 = f_1 \cos \alpha_2 (P_1 + W' - P''/2)$$

$P_1 = (II D) (t) (L) (\gamma_s)$ = peso del tubo aguas abajo, en donde

πD = perímetro del tubo

t = espesor del tubo

γ_s = peso específico del acero; 7.8 ton/m^3

L = longitud del tubo aguas abajo; 20 m.

sustituyendo

$$P'_1 = (\pi \cdot 1.83 \text{ m}) (0.03 \text{ m}) (20 \text{ m}) (7.8 \text{ ton/m}^3) = 26.9 \text{ ton}$$

$$P'' = W_{AS} + W_{TS}$$

en donde W_{AS} y W_{TS} son el peso del agua y del tubo hasta la silleta.

Así,

$$W_{AS} = (A) (L_s) (\gamma)$$

en donde:

A = área del tubo

L_s = longitud de la deflexión a la silleta: 10 m.

γ = peso del agua

sustituyendo

$$W_{AS} = (2.63 \text{ m}^2) (10 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3) = 26.3 \text{ ton.}$$

y

$$W' = 2 W_{AS} = 2(26.3 \text{ ton}) = 52.6 \text{ ton} \quad (*)$$

de la misma forma:

$$W_{TS} = (\pi D) (T) (L_s) (\gamma_s)$$

sustituyendo

$$W_{TS} = (\pi \cdot 1.83 \text{ m}) (0.03 \text{ m}) (10 \text{ m}) (7.8 \text{ ton/m}^3) = 13.5$$

por lo que

$$P'' = 26.3 + 13.5 = 39.8 \text{ ton.}$$

Considerando acero contra concreto, de la tabla 1

$$f_1 = 0.60$$

(*) La longitud del tubo aguas abajo es de 20 m, como se ve en las figuras.

La tubería es horizontal así que

$$\alpha_2 = 0$$

Sustituyendo los datos en F_6 :

$$F_6 = f_1 \cos \alpha_2 (P_1' + W' - \frac{P_1''}{2}) = (0.60) (1) (26.9 + 52.6 - 39.8/2)$$

$$F_6 = 35.8 \text{ ton.}$$

-- Fuerza por fricción en la junta aguas abajo, ya que no existe junta, pues el tubo en este tramo, se diseña para que resista por sí solo las fuerzas por temperatura.

$$F_8 = 0$$

-- Fuerza por presión sobre la junta aguas abajo

$$F_{10} = 0$$

pues no hay junta

-- Fuerza por empuje debida a la reducción

$$F_{11} = (A-A')\gamma h$$

$$A' = \frac{(1.60)^2 \pi}{4} = 2 \text{ m}^2$$

Sustituyendo

$$F_{11} = (2.63 \text{ m}^2 - 2 \text{ m}^2) (1 \text{ ton/m}^3) (350 \text{ m})$$

$$F_{11} = 220.5 \text{ ton}$$

2). Aguas Arriba.

$$\varnothing = 1.60 \text{ m}$$

$$A = \frac{(1.60)^2 \pi}{4} = 2 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{6.8}{2} = 3.4 \text{ m/s}$$

$$h_A = 350 \text{ m}$$

$$\text{en la junta } h_j = 350 - 14 = 336$$

-- Fuerza hidrostática

$$F_1 = Ah_A \gamma = (2)(350)(1) = 700 \text{ ton.}$$

-- Fuerza dinámica

$$F_2 = \frac{\rho V}{g} \gamma = \frac{(6.8)(3.4)(1)}{9.81} = 2.4 \text{ ton}$$

-- Fuerza por peso

$$F_3 = P_1 \text{ sen } \alpha_1$$

$$\alpha_1 = 45^\circ$$

$$P_1 = (\pi D)(T)(L)(\gamma_s) = (\pi \cdot 1.60)(0.03)(20)(7.8) = 23.5 \text{ ton}$$

Sustituyendo

$$F_3 = (23.5) \text{ sen } 45^\circ = 16.6 \text{ ton.}$$

-- Fuerza por fricción en las siletas.

$$P' = \frac{P_1}{2} = \frac{23.5}{2} = 11.8 \text{ ton}$$

$$W = (A) (L) (\gamma) = (2) (20) (1) = 40 \text{ ton}$$

$$F_5 = f_1 \cos \alpha_1 (P_1 + W - P'/2) = (0.60) (0.7071) (23.5 + 40 - 11.8/2)$$

$$F_5 = 24.4 \text{ ton}$$

-- Fuerza por fricción en la junta aguas arriba

$F_7 = f_2 \pi (D+2t) b h_{ju} \gamma$, en donde h_{ju} es la altura del agua en la junta aguas arriba: 336 m (figs. 21.3 y 22.3) interpolando entre los valores en que oscila f_2 para la presión de 336 ton/m² en la junta (sección III.1), obtenemos que:

$$f_2 = 0.10$$

y sustituyendo

$$F_7 = (0.10) \pi \sqrt{1.60+2(0.03)} (0.15) (336) (1)$$

$$F_7 = 26.3 \text{ ton}$$

-- Fuerza por presión sobre la junta aguas arriba

$$F_9 = \gamma a h$$

El área de la pared del tubo aguas arriba es

$$a = (\pi D) (t) = (\pi) (1.60) (0.03) = 0.15 \text{ m}^2$$

y sustituyendo

$$F_9 = (1) (0.15) (336) = 50.4 \text{ ton}$$

Una vez calculadas las fuerzas, obtendremos la resultante F_A y F_B de ellas con ayuda de los diagramas de correlación. En la fig. 23.3 se muestran los

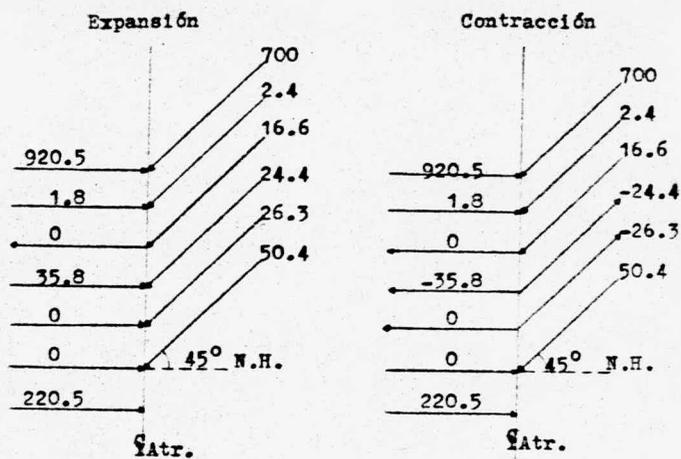


fig. 23.3.

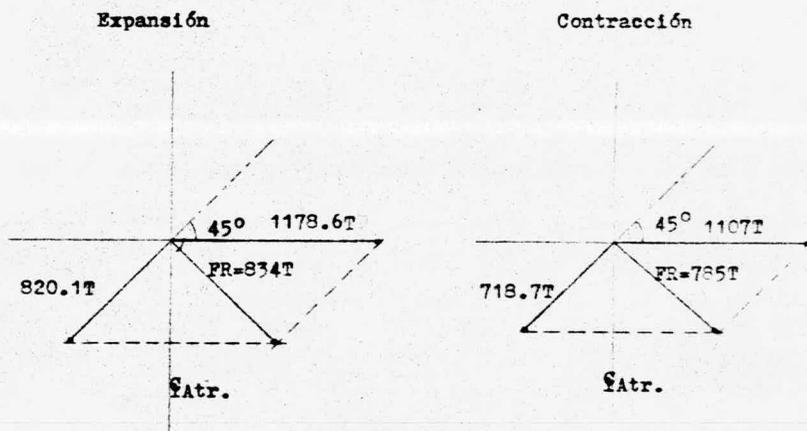


fig. 24.3.

diagramas con los respectivos valores de las fuerzas, para las condiciones de expansión y contracción.

Si llamamos F_A a la resultante aguas abajo y F_B a la resultante aguas arriba (sección III.1) para ambas condiciones, tendremos:

$$F_{A \text{ exp}} = 920.5 + 1.8 + 35.8 + 220.5 = 1178.6 \text{ ton}$$

$$F_{B \text{ exp}} = 700 + 2.4 + 16.6 + 24.4 + 26.3 + 50.4 = 820.1 \text{ ton}$$

y

$$F_{A \text{ cont}} = 920.5 + 1.8 - 35.8 + 220.5 = 1107.0 \text{ ton}$$

$$F_{B \text{ cont}} = 700 + 2.4 + 16.6 - 24.4 - 26.3 + 50.4 = 718.7$$

Empleando el método del paralelogramo hallamos la resultante FR de cada condición tal como se muestra en la fig. 24.3. Puede verse que la resultante final de diseño FR mayor es para la condición de expansión y su valor es de 834 ton; empleando relaciones trigonométricas, observamos que el ángulo de FR respecto a la horizontal está dado como sigue:

$$\theta = \text{ang tan } \frac{820.1 \text{ sen } 45^\circ}{1178.6 - 820(\text{cos } 45^\circ)} = 44^\circ$$

Concluimos, así, el análisis de las fuerzas en el punto A.

b). Análisis de fuerzas para el punto B.

Siguiendo el mismo procedimiento del ejemplo (a), tendremos:

(i) Aguas abajo

$$d = 1.60 \text{ m}$$

$$A = \frac{(1.60)^2 \pi}{4} = 2 \text{ m}^2$$

$$h_B = 350 - \frac{(57+14)}{2} = 314.5 \text{ m (interpolamos entre 57 y 14 pues } h_B \text{ esta a la mitad).}$$

$$V = \frac{6.8}{2} = 3.4 \text{ m/s}$$

o Fuerza hidrostática

$$F_1 = Ah_B \gamma = (2 \text{ m}^2) (314.5 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3) = 629 \text{ ton}$$

o Fuerza dinámica

$$F_2 = \frac{\rho V \gamma}{g} = \frac{(6.8 \text{ m}^3/\text{s}) (3.4 \text{ m/s}) (1 \text{ ton/m}^3)}{9.81 \text{ m/s}^2} = 2.4 \text{ ton}$$

o Fuerza por peso propio del tubo

$$F_4 = P_1' \sin \alpha_2$$

$$P_1' = (IID) (\tau) (L) (\gamma_s)$$

en donde la notación es la indicada en el ejemplo (a),

$$L = \frac{60 \text{ m}}{2} = 30 \text{ m (figs. 21.3 y 22.3)}$$

Sustituyendo:

$$F_1' = (\pi \cdot 1.60 \text{ m}) (0.03 \text{ m}) (30 \text{ m}) (7.8 \text{ ton/m}^3) = 35.3 \text{ ton}$$

$$\alpha_2 = 45^\circ$$

y

$$F_4 = 35.3 \text{ sen } 45^\circ = 25 \text{ ton}$$

o Fuerza por fricción en las silletas:

$$F_6 = f_1 \cos \alpha_2 (P'_1 + W' - \frac{P''}{2})$$

en donde la notación es la señalada en la sección III.1 y en el ejemplo (a).

$$P'_1 = 35.3 \text{ ton}$$

$$W' = (A) (L) (\gamma) = (2 \text{ m}^2) (30 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3) = 60 \text{ ton}$$

puesto que las silletas están a cada 10 m.

$$W_{Ts} = \frac{P'}{3} = \frac{35.3}{3} = 11.8 \text{ ton}$$

y

$$W_{As} = \frac{W}{3} = \frac{60}{3} = 20 \text{ ton}$$

por lo que

$$P'' = W_{As} + W_{Ts} = 20 \text{ ton} + 11.8 \text{ ton} + 31.8 \text{ ton}$$

$$\alpha_2 = 45^\circ$$

$$f_1 = 0.60 \text{ del ejemplo (a)}$$

sustituyendo en F_6

$$F_6 = 0.60 (\cos 45^\circ) (35.3 \text{ ton} + 60 \text{ ton} - 31.8 \text{ ton}/2) = 33.7 \text{ ton.}$$

o Fuerza por fricción en la junta aguas abajo

$$F_8 = f_2 \pi (D+2t) b h_{jd} \gamma$$

en donde

$$h_{jd} = \text{altura del agua en la junta aguas abajo: } 350 - 14 = 336 \text{ m}$$

$$f_2 = 0.1 \text{ del ejemplo (a)}$$

Sustituyendo en F_8

$$F_8 = 0.1 \pi \sqrt{1.60 \text{ m} + 2(0.03 \text{ m})} (0.15 \text{ m}) (336 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3)$$

$$F_8 = 26.3 \text{ ton.}$$

o Fuerza por presión sobre la junta aguas abajo

$$F_{10} = \gamma a' h_{jd}$$

en donde

$$a' = \text{área de la pared del tubo aguas abajo}$$

y vale

$$a' = (\pi D)(T) = (\pi)(1.60 \text{ m})(0.03) = 0.15 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en F_{10}

$$F_{10} = (1 \text{ ton/m}^3)(0.15 \text{ m}^2)(336 \text{ m}) = 50.4 \text{ ton.}$$

(2). Aguas arriba

$$O = 1.60 \text{ m}$$

$$A = \frac{(1.60)^2}{4} \pi = 2 \text{ m}^2$$

$$h_B = 314.5 \text{ m}$$

$$V = 3.4 \text{ m/s}$$

o Fuerza hidrostática:

$$F_1 = Ah_B \gamma = (2 \text{ m}^2)(314.5 \text{ m})(1 \text{ ton/m}^3) = 629 \text{ ton}$$

o Fuerza dinámica:

$$F_2 = \frac{QV}{g} \gamma = \frac{(6.8 \text{ m}^3/\text{s})(3.4 \text{ m/s})(1 \text{ ton/m}^3)}{9.81 \text{ m/s}^2} = 2.4 \text{ ton}$$

o Fuerza por peso:

$$F_3 = P_1 \text{ sen } \alpha_1$$

$$P_1 = P'_1 = 35.3 \text{ ton}$$

$$\alpha_1 = 45^\circ$$

Sustituyendo

$$F_3 = (35.3 \text{ ton}) \text{ sen } 45^\circ = 16.6 \text{ ton}$$

o Fuerza por fricción en las silletas

$$F_5 = f_1 \text{ cos } \alpha_1 (P_1 + W - P'/2)$$

$$P_1 = 35.3 \text{ ton}$$

$$W = W' = 60 \text{ ton}$$

$$P' = P'' = 31.8$$

Sustituyendo

$$F_5 = (0.60) \cos 45^\circ (35.3 \text{ ton} + 60 \text{ ton} - 31.8 \text{ ton}/2) =$$
$$= 33.7 \text{ ton}$$

o Fuerza por fricción en la junta aguas arriba

$$F_7 = f \frac{\pi}{2} (D+2t) b h_{ju}$$

en donde

$$h_{ju} = \text{altura del agua en la junta aguas arriba:}$$
$$350 - 57 = 293 \text{ m}$$

Sustituyendo en F_7

$$F_7 = (0.1) (\pi) \sqrt{1.6 \text{ m} + 2(0.03 \text{ m})} (0.15 \text{ m}) (293 \text{ m})$$
$$(1 \text{ ton/m}^3) = 23 \text{ ton}$$

o Fuerza por presión sobre la junta aguas arriba

$$F_9 = a h_{ju}$$

$$a = a' = 0.15 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en F_9

$$F_9 = (1 \text{ ton/m}^3) (0.15 \text{ m}^2) (293 \text{ m}) = 44 \text{ ton}$$

Empleando los diagramas de correlación, obtenemos, de la fig. 25.3, que:

$$F_A \text{ exp.} = 629 + 2.4 - 25 + 33.7 + 26.3 + 50.4 = 716.8 \text{ ton}$$

$$F_B \text{ exp.} = 629 + 2.4 + 25 + 33.7 + 44 = 757.1$$

Y

$$F_A \text{ cont.} = 629 + 2.4 - 25 - 33.7 - 26.3 + 50.4 = 596.8$$

$$F_B \text{ cont.} = 629 + 2.4 + 25 - 33.7 - 23 + 44 = 643.7$$

Y puesto que tienen la misma línea de acción, obtenemos FR sumando F_A y F_B algebraicamente en cada condición:

$$FR_{\text{exp}} = F_B \text{ exp} - F_A \text{ exp} = 757.1 - 716.8 = 40.3 \text{ ton}$$

$$FR_{\text{cont}} = F_B \text{ cont} - F_A \text{ cont} = 643.7 - 596.8 = 46.9 \text{ ton}$$

Se observa que para la condición de contracción obtenemos la FR mayor. También concluimos, como señalamos en la sección III.7, que en tramos rectos, inclinados, la carencia de deflexiones anula las fuerzas por presión y solo entran en consideración las fuerzas por peso del tubo F_3 y F_4 , las fuerzas por fricción en las juntas F_7 y F_8 y las fuerzas por presión sobre las juntas F_9 y F_{10} . La dirección y posición de FR se muestra en la fig. 26.3:

c). Análisis de fuerzas en el punto (c).

(1) Aguas abajo

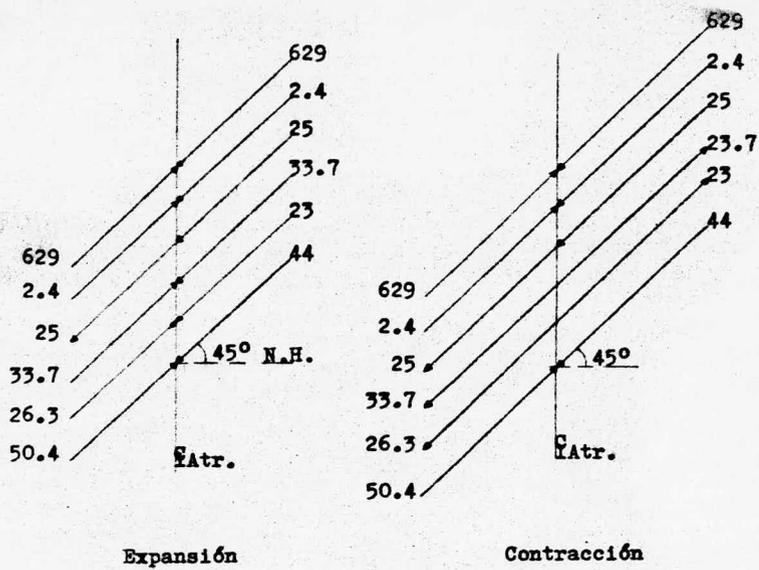


fig. 25.3.

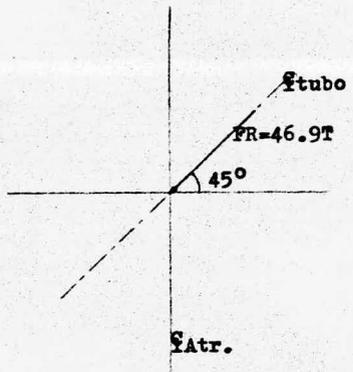


fig. 26.3.

$$\varnothing = 1.60 \text{ m}$$

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$h_c = 350 - 205 = 145 \text{ m (figs. 21.3 y 22.3)}$$

- o Fuerza hidrostática

$$F_1 = Ah_c \gamma = (2 \text{ m}^2)(145 \text{ m})(1 \text{ ton/m}^3) = 290 \text{ ton}$$

- o Fuerza dinámica

$$F_2 = \frac{QV}{g} \gamma = 2.4 \text{ ton del ejemplo (b)}$$

- o Fuerza por peso propio del tubo

$$F_4 = P_1 \text{ sen } \alpha_2 = 25 \text{ ton del ejemplo (b)}$$

- o Fuerza por fricción en las silletas

$$F_6 = 33.7 \text{ ton del ejemplo (b)}$$

- o Fuerza por fricción en la junta, aguas abajo, F_8

$$h_{jd} = 350 - 184 = 166 \text{ m (figs. 21.3 y 22.3)}$$

y

$$F_8 = (0.1) \pi \left[\sqrt{1.60 \text{ m} + 2(0.03 \text{ m})} \right] (0.15 \text{ m})(166 \text{ m}) \\ (1 \text{ ton/m}^3) :$$

$$F_8 = 13 \text{ ton}$$

- o Fuerza por presión sobre la junta aguas abajo, F_{10}

$$F_{10} = \gamma^a h_{jd}$$

$$a' = 0.15 \text{ m}^2, \text{ del ejemplo (b)}$$

$$h_{jd} = 166 \text{ m.}$$

Sustituyendo

$$F_{10} = (1 \text{ ton/m}^2)(0.15 \text{ m}^2)(166 \text{ m.}) = 25 \text{ ton}$$

(2) Aguas Arriba

$$\phi = 1.60 \text{ m}$$

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$h_c = 145 \text{ m}$$

$$V = 3.4 \text{ m/s}$$

o Fuerza hidrostática

$$F_1 = 290 \text{ ton, de 1.C.}$$

o Fuerza dinámica

$$F_2 = 2.4 \text{ ton, de 1.C.}$$

o Fuerza por peso

$$F_3 = P_1 \text{ sen } \alpha_1$$

$$\alpha_1 = 35^\circ$$

$$P_1 = 35.3 \text{ ton}$$

Sustituyendo

$$F_3 = (35.3 \text{ ton})(\text{sen } 35^\circ) = 20.3 \text{ ton}$$

o Fuerza por fricción en las silletas, F_5

$$P_1 = 35.3 \text{ ton}$$

$$W = 60 \text{ ton}$$

$$P' = 31.8 \text{ ton}$$

$$\alpha_1 = 35^\circ$$

Sustituyendo:

$$F_5 = (0.60) \cos 35^\circ (35.3 \text{ ton} + 60 \text{ ton} - 31.8/2) = 39 \text{ ton}$$

o Fuerza por fricción en la junta aguas arriba, F_7

$$h_{ju} = 350 - 222 = 128 \text{ m (fig. 21.3 y 22.3).}$$

Sustituyendo

$$F_7 = (0.1) (\pi) \sqrt{1.6 \text{ m} + 2(0.03)} (0.15 \text{ m}) (128 \text{ m}) \\ (1 \text{ ton/m}^3) = 10 \text{ ton}$$

o Fuerza por presión sobre la junta aguas arriba:

$$F_9 = \gamma_{ah} h_{ju}$$

Sustituyendo:

$$F_9 = (1 \text{ ton/m}^3) (0.15 \text{ m}^2) (128 \text{ m}) = 19.2 \text{ ton}$$

Al aplicar los diagramas de correlación (fig. 27.3) obtenemos:

$$F_{A \text{ exp.}} = 290 + 2.4 - 25 + 33.7 + 13 + 25 = 339.1 \text{ ton}$$

$$F_{B \text{ exp.}} = 290 + 2.4 + 20.3 + 39 + 10 + 19.2 = 380.9 \text{ ton}$$

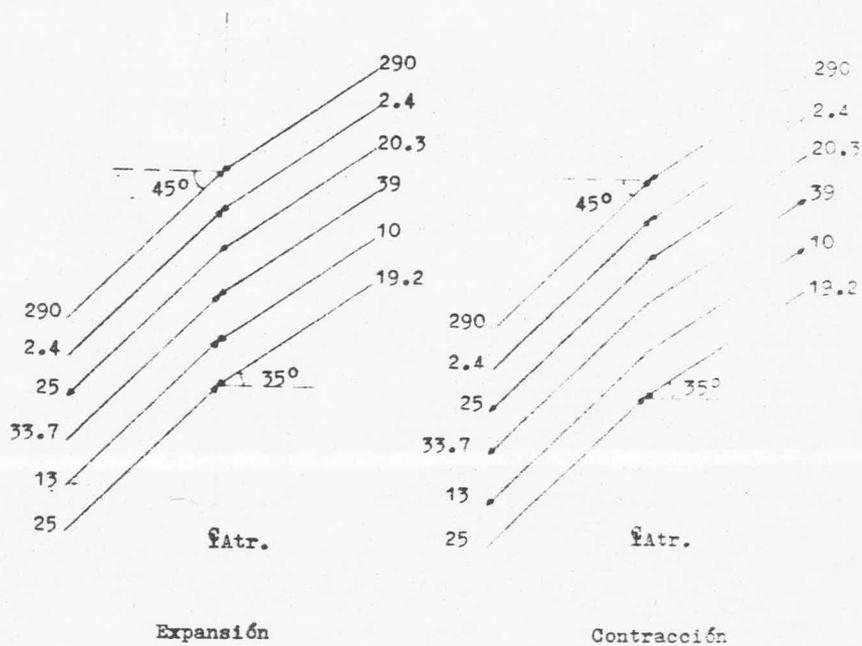


fig. 27.3.

$$F_A \text{ cont.} = 290 + 2.4 - 25 - 33.7 - 13 + 25 = 245.7 \text{ ton}$$

$$F_B \text{ cont.} = 290 + 2.4 + 20.3 - 39 - 10 + 19.2 = 282.9 \text{ ton}$$

Siguiendo el procedimiento gráfico sugerido en la sección III.6, la secuencia para hallar FR de cada condición se muestra en la fig. 28.3.

En (a) se tienen las fuerzas F_A y F_B para ambas condiciones, vistas en elevación; en (b) hallamos sus componentes rectangulares de las cuales sumamos algebraicamente las verticales, con lo que obtenemos r_1 .

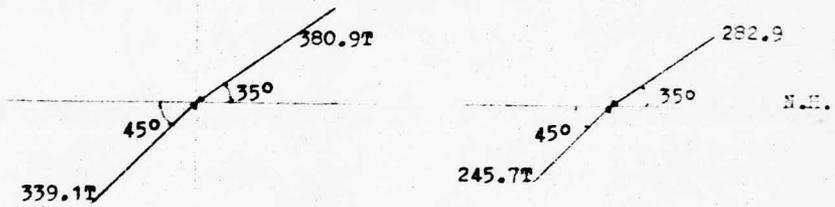
En (c) se obtiene la resultante de las componentes rectangulares horizontales vistas en planta, r . Por último en (d) obtenemos FR de r_1 y r , la que resulta mayor para el caso de expansión: 201 ton.

De la figura 29.a.3, empleando relaciones trigonométricas, obtenemos que el ángulo θ indicado en las condiciones de expansión vale:

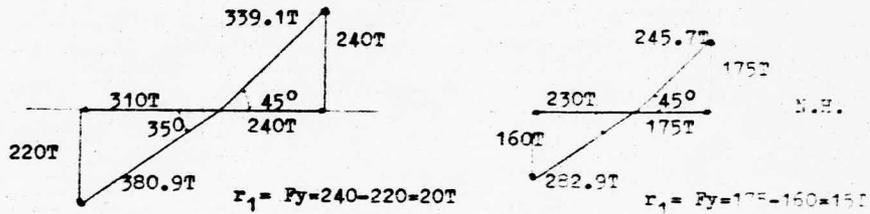
$$\theta = \text{ang tan } \frac{240 \text{ sen } 40^\circ}{310 - (240 \text{ cos } 40^\circ)} = 50.7^\circ$$

que es el ángulo que forma FR con el eje del tubo aguas arriba.

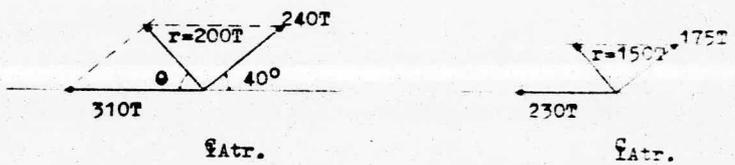
En la figura 29.a.3 se muestra la dirección y la posición de r , r_1 y FR respecto al codo C; r_1 sería perpendicular al papel



Elevación
(a)



(b)



Planta

(c)



(d)

fig. 28.3

y r se empalma con FR. En la figura 29.b.3 se aprecia el corte A-A practicado sobre el eje de r; el ángulo indicado, formado entre FR y la horizontal, es igual a

$$\varrho = \text{ang tan } \frac{20.0}{200.0} = 5.7^\circ$$

Es muy importante el conocimiento exacto de la dirección y posición de FR, pues de ello dependen las condiciones de esfuerzo por las que se diseñará el atraque, como se verá más adelante.

(D) Análisis de fuerzas en el punto D

1. Aguas abajo

$$\varnothing = 1.60$$

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$h_D = 350 - 300 = 50 \text{ m (figs. 21.3 y 22.3)}$$

o Fuerza hidrostática

$$F_1 = A h_D \gamma = (2 \text{ m}^2)(50 \text{ m})(1 \text{ ton/m}^3) = 100 \text{ ton}$$

o Fuerza dinámica

$$F_2 = \frac{QV}{g} \gamma = 2.4 \text{ ton. del ejemplo (b)}$$

o Fuerza por peso propio del tubo

$$F_4 = P'_1 \text{ sen } \alpha_2$$

$$\alpha_2 = 35^\circ$$

$$P'_1 = (qTD)(t)(L)(\gamma_s)$$

$$L = 16 \text{ m (de las figs. 21.3 y 22.3)}$$

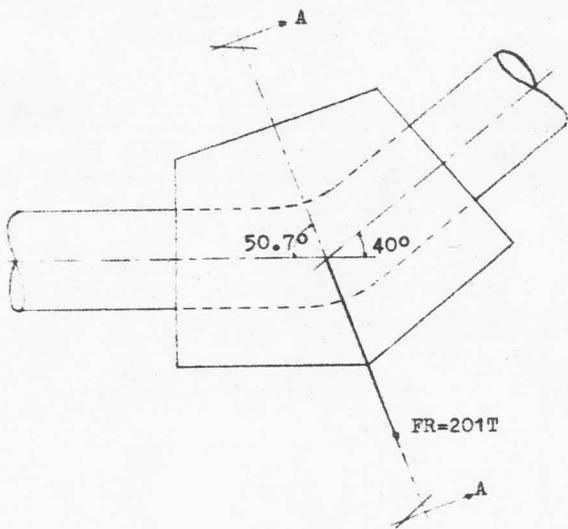
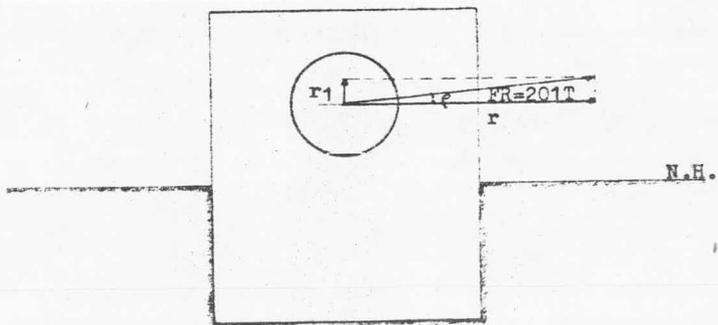


fig. 29.a.3.



Corte A-A

fig. 29.b.3.

Sustituyendo

$$P'_1 = (\pi \cdot 1.1.60 \text{ m}) (0.03 \text{ m}) (16 \text{ m}) (7.8 \text{ ton/m}^3) = \\ = 18.8 \text{ ton}$$

y

$$F_4 = (18.8) \text{ sen } 35^\circ = 10.8 \text{ ton}$$

o Fuerza por fricción en las silletas:

$$F_6 = f_1 \cos \alpha_2 (P'_1 + W' - \frac{P''}{2})$$

$$W' = (A) (L) (\gamma) = (2 \text{ m}^2) (16 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3) = 32 \text{ ton}$$

$$P'' = W_{As} + W_{ts}$$

$$L_s = 6 \text{ m (figs. 21.3 y 22.3)}$$

$$W_{As} = (2 \text{ m}^2) (6 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3) = 12 \text{ ton}$$

$$W_{ts} = (\pi \cdot 1.1.60) (0.03 \text{ m}) (6 \text{ m}) (7.8 \text{ ton/m}^3) = 7 \text{ ton}$$

Sustituyendo

$$P'' = 12 \text{ ton} + 7 \text{ ton} = 19 \text{ ton}$$

y

$$F_6 = (0.60) \cos 35^\circ (18.8 + 32 - 19/2) = 41.3 \text{ ton}$$

o Fuerza por fricción en la junta aguas abajo

$$F_8 = f_2 \pi (D+2t) b h_{jd}$$

$$h_{jd} = 350 - 291 = 59 \text{ m}$$

y

$$F_8 = (0.1) \pi [1.6 \text{ m} + 2(0.03 \text{ m})] (0.15 \text{ m}) (59 \text{ m}) (1 \text{ ton/m}^3)$$

$$F_8 = 4.6 \text{ ton}$$

- o Fuerza por presión sobre la junta aguas abajo

$$F_{10} = \gamma a' h_{jd}$$
$$a' = 0.15 \text{ m}^2$$

y

$$F_{10} = (1 \text{ ton/m}^3)(0.15 \text{ m}^2)(59 \text{ m}) = 8.9 \text{ ton}$$

- 2). Aguas arriba

$$\varnothing = 1.60 \text{ m}$$

$$A = 2 \text{ m}^2$$

- o Fuerza hidrostática

$$F_1 = 100 \text{ ton (de d.l.)}$$

- o Fuerza dinámica

$$F_2 = 2.4 \text{ ton, (de d.l.)}$$

- o Fuerza por peso propio del tubo

$$\alpha_1 = 0$$

por lo que

$$F_3 = 0$$

- o Fuerza por fricción en las silletas.

El tramo de tubería aguas arriba de D no posee silletas, pues se une mediante una pieza especial a la torre de oscilación y -- además el tramo se diseña para resistir por sí solo los efectos

de la temperatura, por lo que:

$$F_5 = 0$$

o Fuerza por fricción en la junta aguas arriba: Ya que no existe junta de dilatación, pues el tubo, es éste tramo, se diseña para resistir por sí sólo las fuerzas por temperatura:

$$F_7 = 0$$

o Fuerza por presión sobre la junta aguas arriba.

No existe junta;

$$F_9 = 0$$

Aplicando nuevamente los diagramas de correlación, fig. 30.3, obtenemos:

$$F_A \text{ exp.} = 100 + 2.4 - 10.8 + 41.3 + 4.6 + 8.9 = 146.4$$

$$F_B \text{ exp.} = 100 + 2.4 = 102.4$$

y

$$F_A \text{ cont.} = 100 + 2.4 - 10.8 - 41.3 - 4.6 + 8.9 = 54.6$$

$$F_B \text{ cont.} = 100 + 2.4 = 102.4$$

Empleando el método gráfico fig. 31.3, obtenemos que FR es mayor para la condición de expansión: 85 ton. El ángulo que ésta -- forma con el tubo horizontal empleando relaciones trigonometricas, es igual a:

$$\theta = \text{ang tan } \frac{146.4 \text{ sen } 35^\circ}{146.4 \text{ cos } 35^\circ + 102.4} = 78.2^\circ$$

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

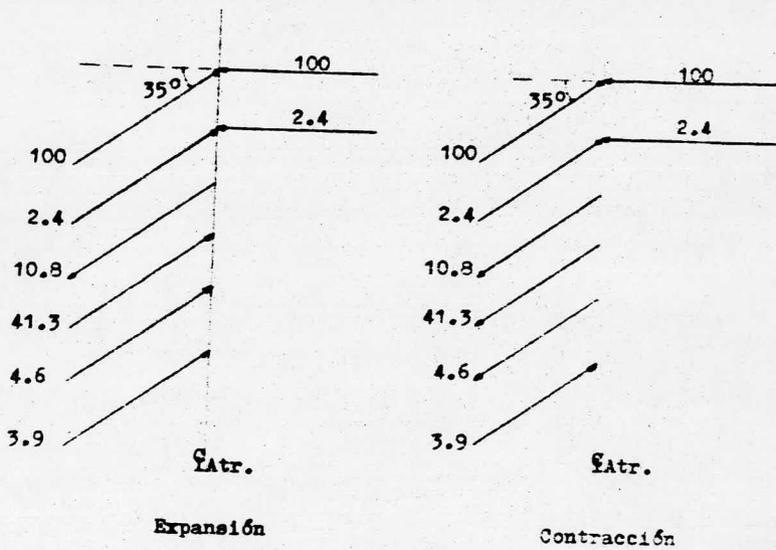


fig. 30.3.

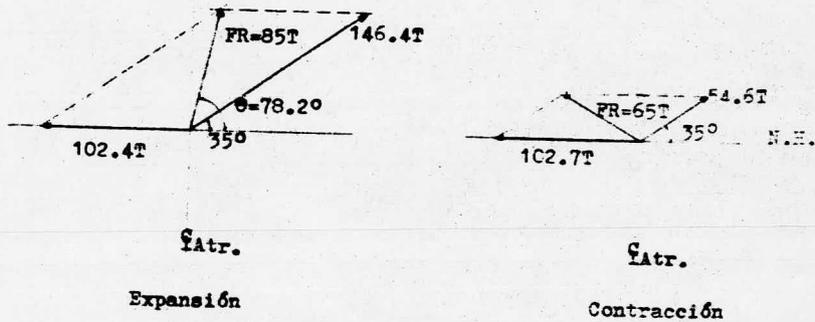


fig. 31.3.

el cual también puede obtenerse directamente de la fig. 31.3.
Con este ejemplo concluimos el presente capítulo y en el siguiente emplearemos los ejemplos analizados, para proceder al diseño del ataque.

IV. DISEÑO DEL ATRAQUE.

En éste capítulo emplearemos métodos y criterios para diseñar -
atraques una vez que se han analizado las fuerzas generadas en los
puntos de empotramiento (capítulo III) y se cuenta con todos los -
datos adicionales de que hemos hablado (capítulo II).

IV.1. Proporcionamiento del atraque.

Se entenderá por proporcionamiento del atraque el tipo, forma -
y tamaño que deberá tener aquél de manera que satisfaga los reque-
rimientos demandados por la tubería, es decir, que contrarreste --
las fuerzas generadas, proporcione un empotramiento sólido y un --
apoyo eficaz al punto de atraque de ésta.

Definiremos cada concepto como sigue:

TIPO.- De acuerdo al procedimiento constructivo, existen tres -
clases de atraque:

- a).- De sección completa.- Cuando la tubería se encuen-
tre totalmente embebida por la sección transversal
del atraque (fig. 1.4.).

- b).- De sección semicompleta.- Cuando la tubería se en-
cuentre parcialmente embebida por la sección trans-
versal del atraque. En éste caso se requiere de es-
tructuras especiales de fijación llamadas abrazade-
ras, como se verá más adelante (fig. 2.4).

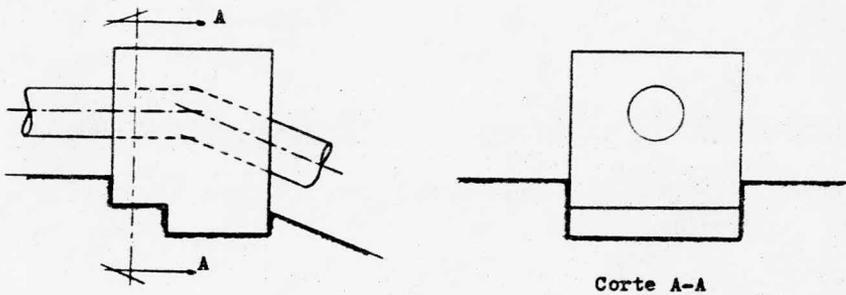


fig. 1.4.

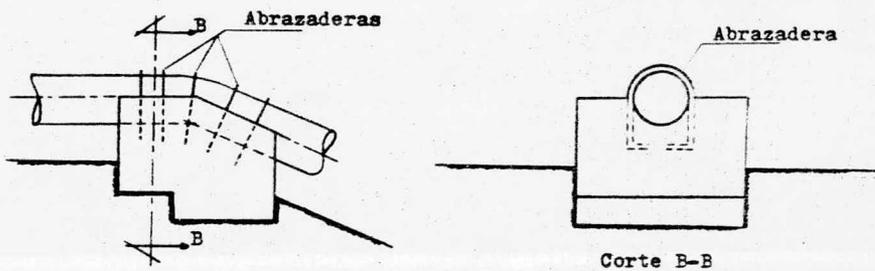


fig. 2.4.

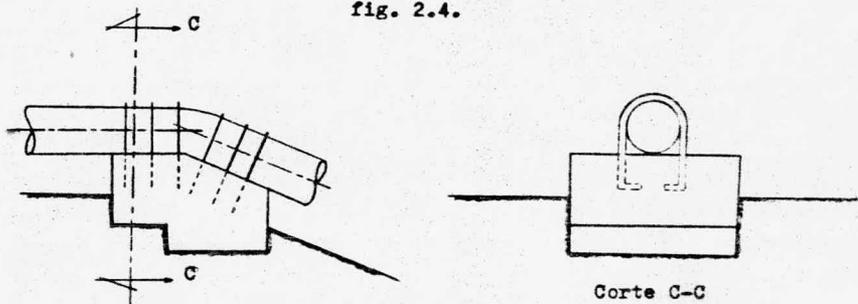


fig. 3.4.

c).- De sección inferior.- Cuando la tubería sólo se apoya en el atraque sujetándose a éste únicamente por las abrazaderas.

Este tipo de atraque es poco usual y se aplica a tuberías pequeñas con presiones de trabajo bajas.

(ver fig. 3.4).

En el presente estudio sólo nos avocaremos a los atraques del tipo a por ser éstos los más usuales y además los más seguros.

FORMA. Se entenderá por forma del atraque, las características geométricas que deberá tener éste tanto en su sección longitudinal como en su sección transversal. Generalmente los atraques son cuerpos prismáticos cúbicos, triangulares o trapeziales o una combinación de éstos, dependiendo del punto de empotramiento, es decir, se deben de adaptar a los quiebres que sufra la tubería y al cuerpo del tubo.

Se tratará de diseñar los atraques con figuras que sean lo más regulares y simétricas posibles. Evidentemente, la forma del atraque será sencilla cuando sea colocado en tramo recto, no siendo así cuando el punto de empotramiento es una deflexión de la tubería; el eje de simetría del atraque coincidirá siempre con el punto de flexión y pasará por la mitad del ángulo formado por los ejes del tubo en dicho punto (fig. 4.4.1).

Independientemente de la forma, los atraques de acuerdo con la

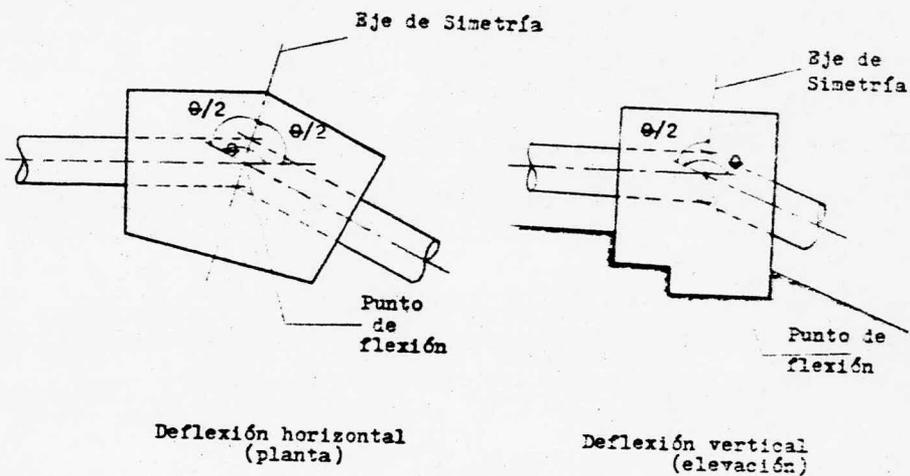


fig. 4.4.

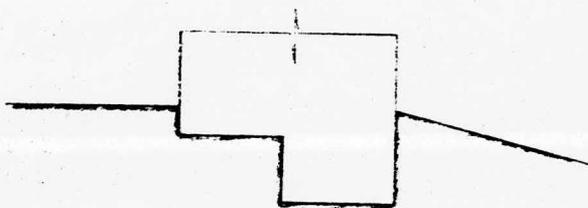


fig. 5.4.

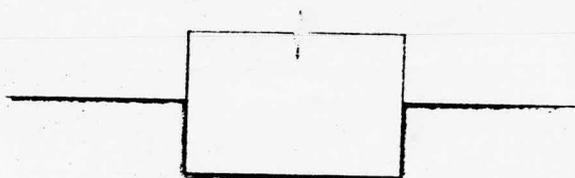


fig. 6.4.

disposición de su base, podrán ser:

- a). Escalonados.- Cuando su sección longitudinal inferior se divida en varias sub-secciones (fig. 5.4).
- b). No escalonados.- Cuando su sección longitudinal inferior -- sea uniforme (fig. 6.4).

Los atraques escalonados se emplean en tuberías colocadas en lugares bastante inclinados, pues la superficie de contacto a base de escalones, ofrece mejor sustentación al atraque y permite un -- ahorro considerable de material y de peso; en la fig. 7.4 observamos un tramo de tubería inclinado empotrado por un atraque no escalonado y por uno escalonado a fin de hacer la comparación. El área de la porción del atraque no escalonado que permanece enterrada es:

$$A_{ne} = \frac{(3+7)}{2} \times 6 = 60 \text{ m}^2$$

y su peso por metro de ancho (perpendicular al papel) :

$$W_{cne} = A_{ne} \gamma_c = 60 \times 2,4 = 144 \text{ ton/m}$$

en tanto que para el atraque escalonado tenemos :

$$A_E = 60 - (2^2 + 2 \times 4) = 48 \text{ m}^2$$

y el peso por metro de ancho :

$$W_{ce} = A_E \gamma_c = 48 \times 2,4 = 115 \text{ ton /m}$$

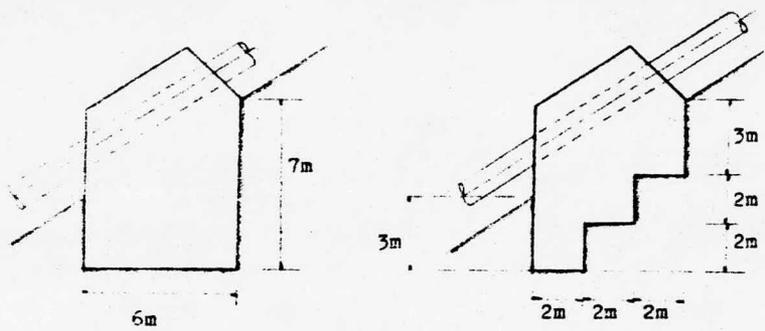
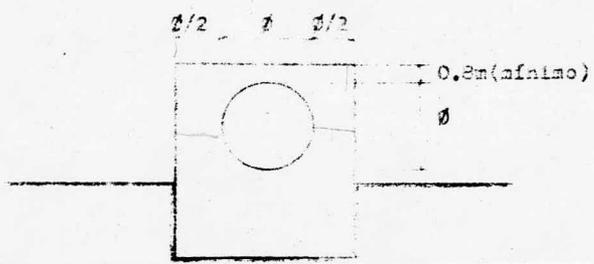
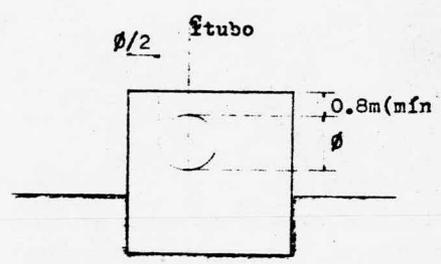
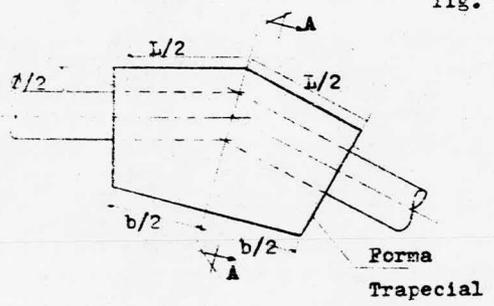


fig. 7.4.



Corte transversal

fig. 8.4.



Corte A-A

Deflexión horizontal

fig. 9.4.

Es decir, obtenemos un ahorro de concreto de $12 \text{ m}^3/\text{m}$ y un ahorro de peso de 29 ton/m.

El atraque escalonado además ofrece la misma área de sustentación que el atraque no escalonado, como puede verse de la figura.

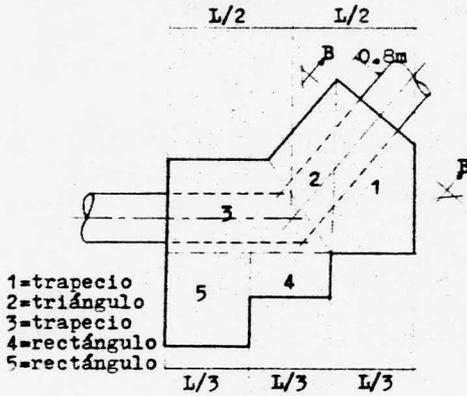
Los atraques no escalonados se usan cuando el punto de apoyo es casi o completamente horizontal, siempre y cuando no exista un cambio fuerte de pendiente, en cuyo caso será preferible empotrar con un atraque escalonado. Como hemos observado, no se puede seguir un patrón preciso al proporcionar la forma del atraque, pero podemos establecer requisitos mínimos al dimensionar aquél:

a). El espesor mínimo de concreto sobre el lomo del tubo será de 80 cm y de la mitad del diámetro de aquel a los lados (fig. 8.4).

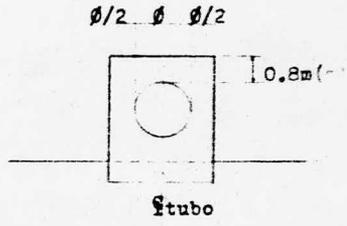
b). El eje de simetría del atraque siempre coincidirá con el punto de flexión, tal como habíamos señalado, o estará a la mitad de aquel cuando se empotre un tramo recto.

c). Se procurará diseñar el atraque usando figuras geométricas regulares (triángulos, rectángulos, trapecios, etc), de tal suerte, que se pueda trabajar con facilidad el atraque al efectuar los cálculos relativos a su volumen, sus dimensiones, los esfuerzos de éste sobre el terreno etc.

En las figuras 9.4 , 10.4 y 10.a.4 se ilustran ejemplos de proporcionalidad del atraque, pero, como señalamos, no se pueden establecer patrones tipo y el diseñador, apegándose a las reglas que hemos establecido, elegirá la forma del

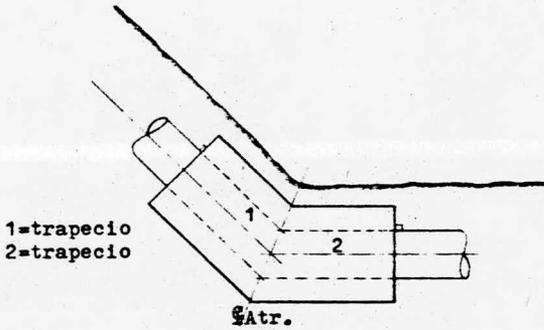


- 1=trapecio
- 2=triángulo
- 3=trapecio
- 4=rectángulo
- 5=rectángulo



Deflexión vertical

fig. 10.4.



Deflexión vertical
(atraque enterrado)

fig. 10.a.4.

ataque que mejor se apegue a sus necesidades.

TAMANO. El tamaño del ataque se refiere a las dimensiones que deberá tener una vez elegida su forma.

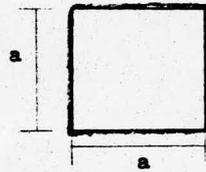
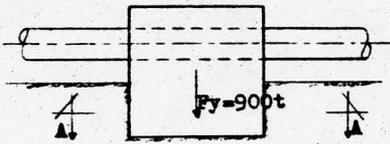
Al dimensionar los ataques los factores a considerar serán los siguientes:

a). El tamaño del ataque estará en función directa del diámetro del tubo esto es, se concibe que diámetros grandes requerirán ataques que correspondan a sus dimensiones.

b). La magnitud de la fuerza resultante FR determinará el tamaño del ataque, tomando en cuenta que el peso propio de aquél será el único que la contrarreste, es decir, el peso total de la estructura será bastante superior a las componentes vertical y horizontal de FR, de forma que impida movimiento alguno de la tubería y del ataque mismo.

c). Las dimensiones de la base del ataque deberán proporcionar un área suficiente para que, bajo los efectos del peso propio del ataque, de la fuerza resultante FR y de los momentos de volteo originados por ésta, transmita esfuerzos al terreno menores a los esfuerzos de trabajo de éste. Por ejemplo, supongámos que la componente vertical total de FR incluyendo peso propio de un ataque es de 900 toneladas, y el esfuerzo producido por los momentos de volteo es de 12 ton/m^2 y el esfuerzo permisible del terreno es $\sigma_t = 25 \text{ ton/m}^2$; si la base de apoyo es un cuadrado de lado a (fig. 11.4), la dimensión mínima por lado será:

$$\sigma_t - \sigma_m = \frac{P}{A} ;$$



Corte A-A

fig. 11.4.

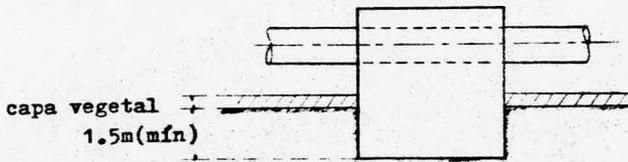


fig. 12.4.

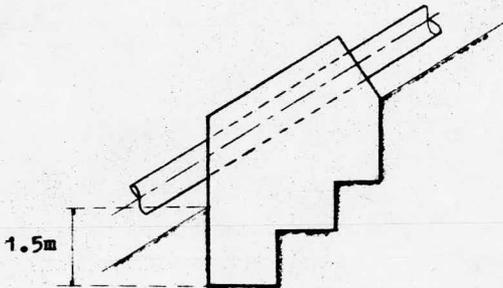


fig. 13.4.

Sustituyendo

$$25 - 12 = \frac{900}{A} = \frac{900}{a^2}$$

de donde

$$a = \frac{900}{13} = 8.3 \text{ m}$$

Más adelante veremos los procedimientos a seguir para el cálculo de los esfuerzos producidos por el peso propio, las fuerzas resultante FR y los momentos de volteo que ésta provoca.

d) La profundidad mínima de desplante, en caso de atraques superficiales, será de 1.5 m a partir del nivel del terreno natural, sin incluir la capa vegetal (fig. 12.4). En el caso de atraques localizados en terrenos inclinados la profundidad señalada se medirá a partir de la cara inferior (fig. 13.4).

e) La dimensión mínima de la parte inferior del tubo a la base del atraque será la profundidad mínima más la separación entre el terreno y el tubo para tuberías superficiales (fig. 14.4); en el caso de tuberías enterradas la dimensión mínima será de la mitad del diámetro del tubo (fig. 15.4).

Como se ha visto, el proporcionamiento del atraque no es muy sencillo, sobretodo si tomamos en cuenta que no siempre al primer

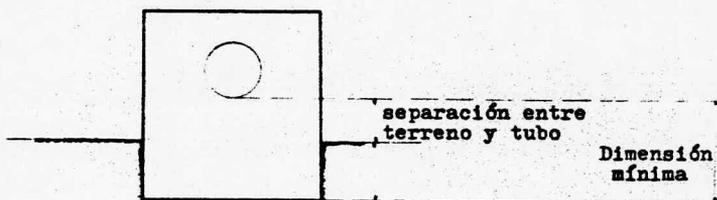


fig. 14.4.

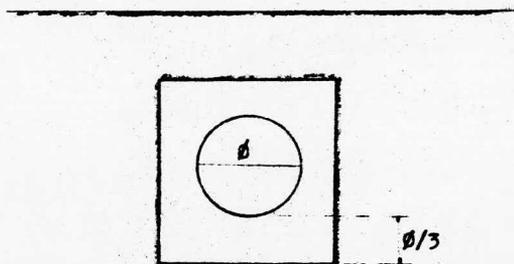


fig. 15.4.

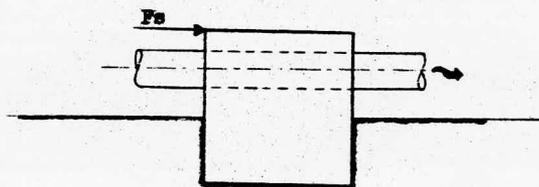


fig. 16.4.

diseño obtendremos una estructura que satisfaga los requerimientos de estabilidad o de esfuerzo permisible del terreno. Pero, de acuerdo con la experiencia del diseñador y apegándose lo mas posible a las reglas que se vieron, en pocos intentos se logrará un buen proporcionamiento del atraque.

IV.2. Fuerzas adicionales en el atraque

Definiremos como fuerzas adicionales aquellas que actúan independientemente de las fuerzas internas generadas en la tubería. Las más importantes se reducen a dos y son las siguientes:

- 1). Fuerzas por sismo
- 2). Fuerzas por empujes de tierra.

Las fuerzas por sismo serán consideradas sólo cuando se trate de tuberías superficiales; de acuerdo con el coeficiente sísmico de la región, la fuerza por sismo F_s se calculará como sigue:

$$F_s = W_A C$$

en donde

W_A = Peso del atraque en toneladas

C = coeficiente sísmico (adimensional)

Para efectos de diseño, F_s actuará sobre la parte superior del atraque y en el sentido del flujo (fig. 16.4). El valor del coeficiente sísmico será el que corresponda a la región que nos ocupe. En la figura 17.4 se muestra la carta sísmica de la República Mexicana. Los esfuerzos adicionales que ocasiona la fuerza sísmica los estudiaremos más adelante.

Las fuerzas por empuje de tierras podrán ser de dos tipos:

- a). Favorables.- Cuando se trate de atraques enterrados el peso de los rellenos se deberá aprovechar conjuntamente con la estructura, para contrarrestar las fuerzas hidrostáticas resultantes. Dicho peso será el del volumen de sólidos acumulado en la cara superior del atraque (fig. 18.4), esto es:

$$W_s = A \gamma_s h$$

en donde

W_s = peso de los sólidos en toneladas

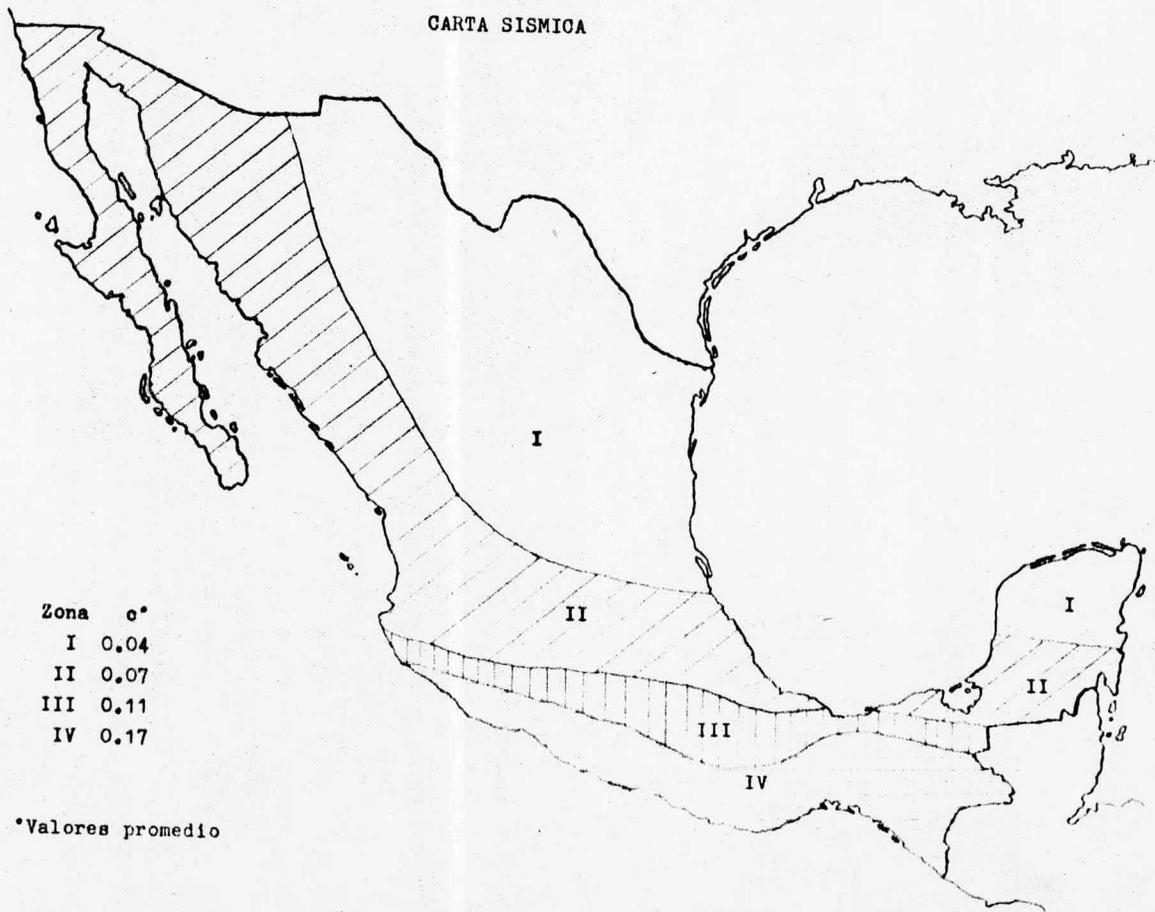
A = área de la cara superior del atraque

γ_s = peso específico de los sólidos

h = altura del relleno, desde la cara superior del atraque hasta el nivel del terreno.

- b). Adversas .- Cuando se trate de atraques que soporten tuberías colocadas en terrenos con pendiente, ya que se originarán --

CARTA SISMICA



*Valores promedio

fig. 17.4.

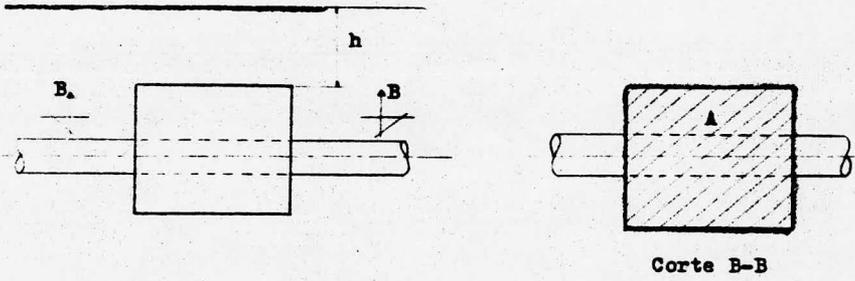


fig. 18.4.

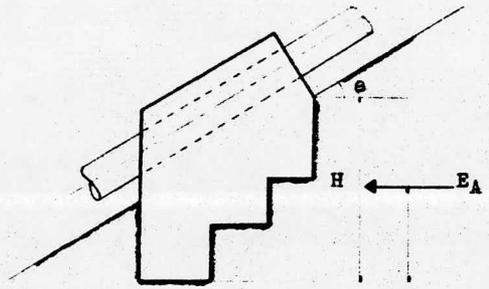


fig. 19.4.

empujes activos.

En la figura 19.4 se muestra un atraque en pendiente, la altura de su proyección vertical bajo la acción de los sólidos y el ángulo β que forma el terreno con el nivel horizontal. Para suelos --- friccionantes el empuje activo del material, se calculará como sigue:

$$E_A = \frac{1}{2} \gamma_s H^2 \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}}$$

en donde

γ_s = peso específico de los sólidos.

θ = coeficiente o ángulo de fricción del material.

E_A = empuje activo en toneladas

El punto de aplicación de E_A estará siempre a la mitad de la proyección vertical del atraque, H, que se encuentre bajo los efectos directos del empuje de sólidos. Los esfuerzos producidos por E_A los analizaremos más adelante.

IV.3. Condiciones de estabilidad.

Hemos señalado que el atraque, una vez proporcionado, deberá -- cumplir ciertas condiciones de estabilidad, es decir, impedirá movimientos de su cuerpo tanto verticales como horizontales.

Dichas condiciones serán las siguientes:

- a). Volteo
- b). Deslizamiento.

El procedimiento necesario a fin de comprobar que la estructura cumpla con las condiciones señaladas se describe a continuación:

Volteo.- Por volteo entenderemos el giro que tienden a producir la suma de fuerzas que el atraque deberá soportar. Dichas fuerzas son la fuerza resultante FR (cap. III) y, cuando existieran, las fuerzas adicionales por sismo y por empuje de tierras (Sección IV.2).

En la figura 20.4 se muestra el diagrama de cuerpo libre de un atraque, la posición de FR, sus componentes horizontales (FRx) y vertical (FRy), las fuerzas por sismo, F_s , y por empuje de tierra, E_A , que actúan como ya hemos señalado y la posición del centro de masas o centro de gravedad G --no confundir con el centroide-- por el cual pasa el peso del atraque, W_c .

Tomando momentos respecto del punto A indicado, de todas las fuerzas que actúan, tenemos:

$$\sum M_{A \text{ actuantes}} = FRx \cdot h_A + FRY \cdot a + E_A \cdot \frac{H}{2} + F_s \cdot b$$

El momento producido por el peso del atraque será:

$$M_c = W_c \cdot a$$

NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

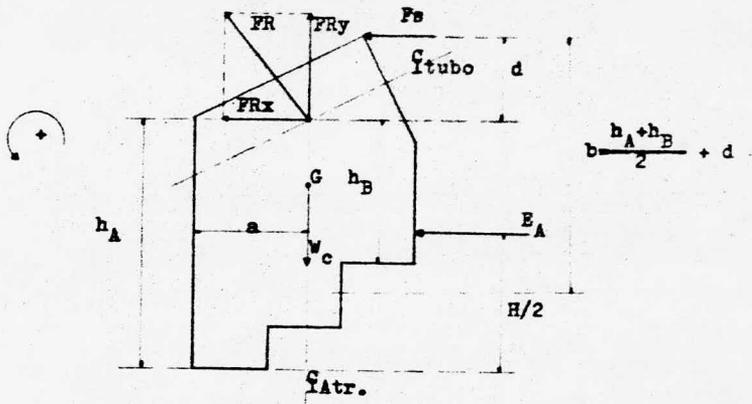


fig. 20.4.

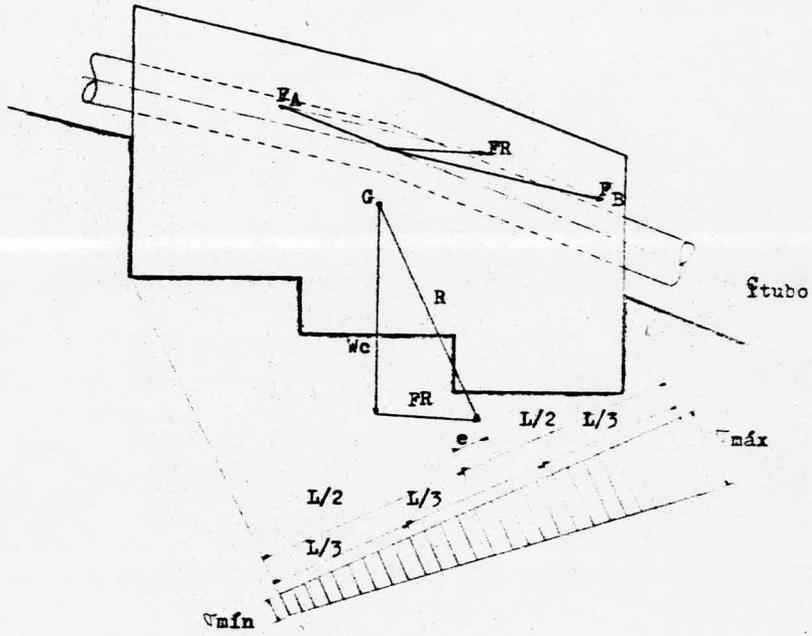


fig. 21.4.

Para garantizar que el atraque no sufra volteo, deberá cumplirse que:

$$\Sigma M_f \text{ actuantes} < M_c$$

o sea

$$FRx \cdot h_a + FRy \cdot a + E_A \frac{H}{2} + F_s \cdot b < W_c \cdot a$$

La relación $M_c / \Sigma M_f \text{ actuantes}$ se considerará satisfactoria cuando sea mayor o igual a 2.0*. También señalaremos que la suma de las fuerzas verticales contrarias al peso del atraque debe ser mucho menor que éste, es decir:

$$\Sigma F_y \lll W_c$$

Deslizamiento. - El deslizamiento es la tendencia del atraque a moverse horizontalmente bajo el efecto de las fuerzas actuantes. Para revisar el atraque para esta condición, necesitamos conocer el coeficiente de rozamiento μ , que para las condiciones de concreto sobre tierra se considera igual a 0.50. El atraque no se deslizará si se cumple que:

$$W_c \mu > \Sigma F_x \text{ actuantes} = FR + E_A + F_s$$

en donde

$$W_c = \text{peso del atraque en toneladas,}$$

es decir, cuando el coeficiente de rozamiento multiplicado por el

* Normas del A.C.I.

peso del ataque exceda a la suma de las fuerzas verticales actuan-
tes. La relación $W_c/\Sigma FX$ actuan-tes deberá ser mayor o igual a 1.5*.

Una vez que se ha revisado el ataque para las condiciones de vol-
teo y deslizamiento, verificaremos los esfuerzos que trasmite al te-
rreno.

IV.4. Revisión por esfuerzos sobre el terreno.

El peso del ataque conjuntamente con las fuerzas F_R , F_S y E_A ,
transmiten una serie de esfuerzos sobre el terreno los cuales no
deberán exceder el esfuerzo permisible σ_p del terreno. El σ_p del
terreno se obtiene experimentalmente de los estudios de mecánica
de suelos; de la exactitud con que se calcule dependerá la resis-
tencia a la falla del terreno bajo la acción del ataque. Existen
dos métodos para calcular los esfuerzos transmitidos al terreno:

- 1). Gráfico
- 2). Analítico

su desarrollo es como sigue:

Gráfico. Consiste en dibujar a escala el ataque propuesto,
la fuerza F_R resultante de F_A y F_B (Cap. III) y el peso del ataque,
 W_c , que pasa por el centro de gravedad, G , de éste (fig. 21.41).

*Según pruebas efectuadas por el A.C.I. (American Concrete Institute)

Aplicando la ley del polígono de fuerzas obtenemos la resultante R de W_c y FR que se muestra. La línea de acción de R debe caer en el medio tercio, $1/3$, de la proyección de la base del atraque perpendicular a ésta. Si se cumple dicha condición, podremos calcular los esfuerzos mínimo y máximo, σ_{\min} y σ_{\max} , indicados con la siguiente fórmula.

$$\sigma = \frac{R}{L} l + \frac{6 e}{L}$$

en donde

e = La distancia existente entre la línea de acción de R y $L/2$ (fig. 21.4), en metros.

L = Longitud de la proyección de la base perpendicular a FR en metros.

l = Ancho del atraque (perpendicular al papel), en metros.

El signo positivo se aplicará para σ_{\max} , en tanto que el negativo para σ_{\min} .

El esfuerzo máximo, σ_{\max} , calculado así, no deberá exceder el esfuerzo permisible del terreno, esto es:

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{perm.}}$$

Para incluir las fuerzas E_A y F_S , cuando existieran, bastara con obtener sus componentes respecto al eje de FR, proyectándolas de acuerdo con el ángulo existente entre ellas y FR, (fig. 21.a.4) y sumando dichas proyecciones a FR. El procedimiento para obtener $\sigma_{\text{máx}}$ y $\sigma_{\text{mín}}$ sería idéntico al que indicamos.

Analítico.- Para obtener los esfuerzos transmitidos al terreno mediante el método analítico, emplearemos la fórmula de la escuadría combinada con los esfuerzos por carga. Así, $\sigma_{\text{máx}}$ y $\sigma_{\text{mín}}$, se calcularán como sigue:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{A} + \frac{M \bar{y}}{I}$$
$$\sigma_{\text{mín}} = \frac{P}{A} - \frac{M \bar{y}}{I}$$

en donde

$P = W_c + \Sigma F_y$ en ton. (F_y se sumarán cuando actúen en el sentido de W_c y se restarán en el caso contrario.)

A = área de la base del atraque o de su proyección vertical (fig. 22.4).

M = momento de volteo producido por las fuerzas actuantes. (Sección IV.3, fig. 20.4).

\bar{y} = distancia centroidal en el sentido longitudinal de la base del atraque, en metros.

I = momento centroidal de inercia de la base en sentido longitudinal: $\frac{bh^3}{12}$, siendo b el ancho del atraque y h la longitud de su base o de la proyección vertical de ésta.

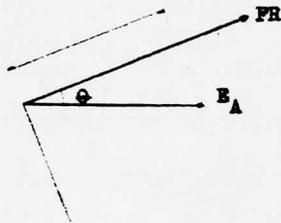
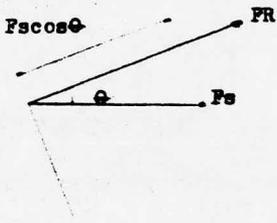
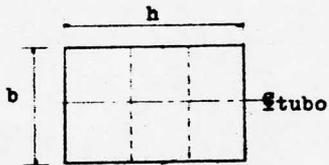
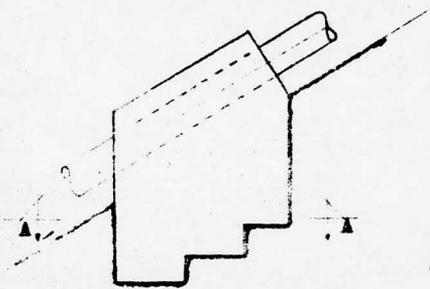


fig. 21.a.4.



Proyección
de escalones
Proyección
vertical de la base

Corte A-A

fig. 22.4.

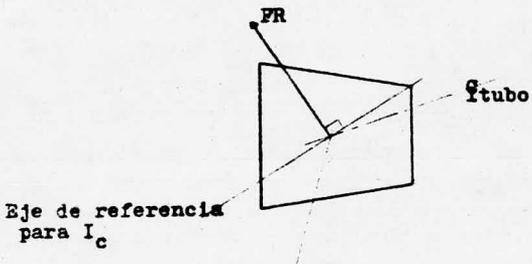


fig. 23.4.

El signo positivo será para $\sigma_{\text{máx}}$, en tanto que el negativo para $\sigma_{\text{mín}}$ y como señalamos:

$$\sigma_{\text{máx}} < \sigma_{\text{perm.}}$$

De los elementos de que dispone el método analítico se puede concluir que cuanto más complicada sea la forma de la base, más complicada será la aplicación de aquél, ya que el momento de inercia centroidal se calcula respecto del eje perpendicular a la dirección de FR (fig. 23.4), siendo preferible en tales casos el uso del método gráfico.

IV.5. Empotramiento del tubo al atraque.

El empotramiento del tubo al atraque será la forma por la cual fijaremos el primero al segundo. La fijación debe ser tal que se garantice la completa inmovilidad del tubo.

Los elementos más empleados para tal fin son:

- a). Anillos conectores.
- b). Abrazaderas.

La descripción de cada elemento y su método de diseño es la siguiente:

Anillos conectores. Normalmente un atraque localizado en una deflexión de la tubería no requiere de fijadores que eviten el deslizamiento de ésta, pues el mismo quiebre, al embeberse en concreto, se opone a cualquier movimiento horizontal. Sin embargo, cuando se

trata de atraques localizados en tramos rectos, sobre todo inclinados, se requieren elementos especiales que eviten cualquier posible deslizamiento de la tubería. Tales elementos son los anillos conectores; se fabrican estos con vigas metálicas de acero, cuya sección es un ángulo de lados iguales (fig. 24.4). Estas vigas van soldadas alrededor del tubo y al colar el atraque quedan embebidas en el concreto (fig. 25.4). Como norma, el espesor t de éstas será igual o mayor al espesor del tubo.

Cuando se trate de tramos horizontales, los anillos conectores no resistirán esfuerzo alguno, ya que no existen fuerzas axiales que lo provoquen, por lo cual sólo se colocarán para garantizar una adecuada fijación entre tubo y atraque.

En tramos inclinados sí se transmiten esfuerzos a los anillos, provocados por la componente axial del peso de la tubería. En la figura 26.4, W_t es el peso total del tubo que ha de soportar el atraque y W_{at} es la componente axial de W_t ; aplicando relaciones trigonométricas, encontramos que:

$$W_{at} = W_t \text{ sen } \alpha$$

La fuerza W_{at} la usaremos en el diseño de los anillos. El procedimiento se realizará como sigue:

- 1º). Elegimos un número determinado de anillos n (se colocarán como mínimo 2 anillos).

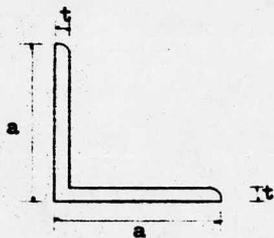


fig. 24.4.

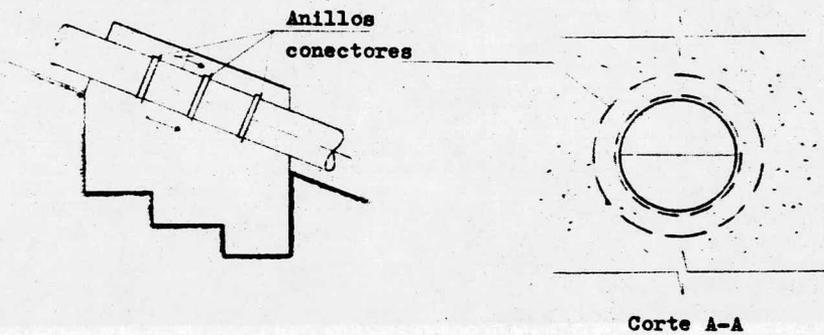


fig. 25.4.

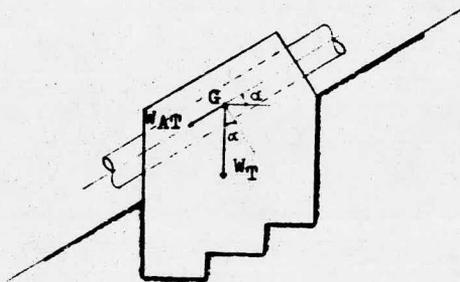


fig. 26.4.

2°). Se elegirá un perfil de la tabla 26.a.4, que tenga como espesor mínimo el del tubo.

3°). La fuerza, f_{ac} , que deberá soportar cada uno será:

$$f_{ac} = \frac{W_{at}}{h}$$

De acuerdo con la experiencia, se ha comprobado que casi la totalidad de los esfuerzos transmitidos a los anillos se concentran en la superficie de unión entre éstos y la pared del tubo (fig.27.4), por consiguiente, el elemento estructural más importante en este caso es la ceja de soldadura que se usa para unirlos.

En el diseño de la ceja de soldadura la dimensión más importante es la llamada garganta, simbolizada por T, como se indica en la figura 28.4. La sección de la ceja en T fallará primero bajo los esfuerzos por ser aquella la dimensión más pequeña.

La fuerza W_t sen α/n aplicada a cada anillo es absorbida completamente por el par de cejas de soldadura que unen a aquél al tubo, por lo que requeriremos calcular un área para cada ceja en función de T y del esfuerzo permisible de la soldadura, σ_w . El área de cada ceja será entonces:

$$a_c = \pi D T \dots\dots\dots (I)$$

DIMENSIONES DE ANGULOS DE LADOS IGUALES*
(aXt)

PULG.	MM	PULG.	MM
6X1	152.4X25.4	2 1/2X5/16	63.5X7.9
6X7/8	152.4X22.2	2 1/2X1/4	63.5X6.3
6X3/4	152.4X19.0	2 1/2X3/16	63.5X4.8
6X5/8	152.4X15.9	2X3/8	50.8X9.5
6X9/16	152.4X14.3	2X5/16	50.8X7.9
6X1/2	152.4X12.7	2X1/4	50.8X6.3
6X7/16	152.4X11.1	2X3/16	50.8X4.8
6X3/8	152.4X9.5	2X1/8	50.8X3.2
5X3/4	127.0X19.0	1 3/4X5/16	44.4X7.9
5X5/8	127.0X15.9	1 3/4X1/4	44.4X6.3
5X1/2	127.0X12.7	1 3/4X3/16	44.4X4.8
5X7/16	127.0X11.1	1 3/4X1/8	44.4X3.2
5X3/8	127.0X9.5	1 1/2X3/8	38.1X9.5
4X3/4	101.6X19.0	1 1/2X5/16	38.1X7.9
4X1/2	101.6X12.7	1 1/2X1/4	38.1X6.3
4X7/16	101.6X11.1	1 1/2X3/16	38.1X4.8
4X3/8	101.6X9.5	1 1/2X1/8	38.1X3.2
4X5/16	101.6X7.9	1 1/4X1/4	31.7X6.3
4X1/4	101.6X6.3	1 1/4X3/16	31.7X4.8
3X5/8	76.2X15.9	1 1/4X1/8	31.7X3.2
3X1/2	76.2X12.7	1X1/4	25.4X6.3
3X7/16	76.2X11.1	1X3/16	25.4X4.8
3X3/8	76.2X9.5	1X1/8	25.4X3.2
3X5/16	76.2X7.9	7/8X3/16	22.2X4.8
3X1/4	76.2X6.3	7/8X1/8	22.2X3.2
2 1/2X3/8	63.5X9.5	3/4X3/16	19.0X4.8

Tabla 26.a.4.

*Datos tomados del manual Monterrey

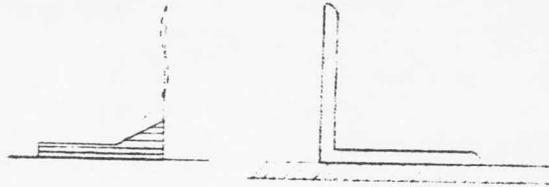


fig. 27.4.

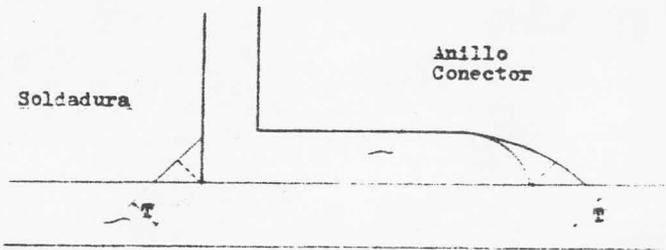


fig. 28.4.

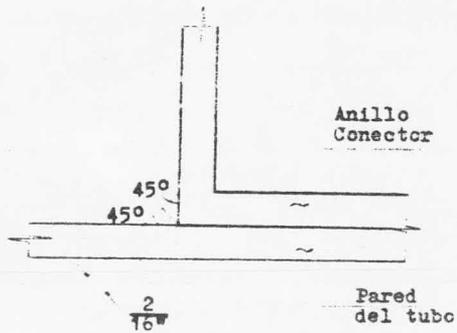


fig. 29.4.

en donde

- $a_c = \text{área por ceja en cm}^2$
- $D = \text{diámetro del tubo en cm.}$
- $T = \text{garganta de la ceja en cm.}$

La fuerza soportada por cada ceja es:

$$f_c = \pi D T \sigma_w \dots\dots\dots (II)$$

en donde

- $\sigma_w = \text{esfuerzo permisible de la soldadura en Kg/cm}^2$
- $f_c = \text{fuerza soportada en Kg.}$

Como norma se toma un valor de 100 Kg/cm^2 para σ_w por cada $1/16''$ (1.59 mm) de garganta*. La fuerza total resistida por ambas cejas será:

$$2 f_c = 2 \pi D T \sigma_w \dots\dots\dots (III)$$

y debe ser igual a la fuerza por anillo, o sea:

$$2 f_c = f_{ac}$$

$$2 \pi D T \sigma_w = W_t \text{sen} \alpha / n \dots\dots\dots (IV)$$

despejando T de IV:

$$T = \frac{W_t \text{sen} \alpha / n}{2 \pi D \sigma_w} \dots\dots\dots (V)$$

*Normas de la A.S.T.M

La fórmula V nos permitirá obtener el espesor necesario de garganta, T, de la soldadura. Para ello, supondremos una T preeliminar lo cual nos proporcionará un primer esfuerzo, σ_w , que sustituiremos en V; si el valor obtenido para T es menor que la Y supuesta, deberemos aumentarla, pero si el valor obtenido de T es menor del que supusimos, lo daremos por bueno. Por ejemplo, el peso total W_t , de un tubo de 1.60 m de diámetro es de 120 ton, inclinado 45° , y se quiere asegurar a un atraque mediante 2 anillos conectores; la garganta T, estimada es de $1/16''$ (1.59 mm) que nos proporciona un esfuerzo permisible $\sigma_w = 100 \text{ Kg/cm}^2$. Se trata de verificar la adecuada resistencia de la soldadura al corte. Aplicando la fórmula V, tenemos:

$$T = \frac{W_t \text{ sen } \alpha / n}{2 \sigma_w D} = \frac{(120 \times 10^3 \text{ Kg}) (\text{sen } 45^\circ) / 2}{2 \times 100 (160 \text{ cm})} = 0.422 \text{ cm} = 4.22 \text{ mm} > 1.59 \text{ mm}$$

Como se ve, la T supuesta no satisface los requerimientos, por lo que le asignaremos $\frac{2}{16}''$ (3.18 mm) que nos proporcionará un nuevo valor de $\sigma_w = 200 \text{ Kg/cm}^2$; sustituyendo nuevamente en V.

$$T = \frac{(120 \times 10^3) (\text{sen } 45^\circ) / 2}{2 \times 200 (160 \text{ m})} = 2.11 \text{ mm} < 3.18 \text{ mm}$$

Así pues, el valor adecuado de T es de $\frac{2}{16}''$. El diseño de la caja de soldadura se muestra en la figura 29.4.

Abrazaderas.- En ocasiones la componente vertical de FR, dirigida hacia arriba, supera al peso del concreto sobre el lomo del tubo, lo que provocaría una fractura del cuerpo del atraque, pues -- el concreto no soporta tensiones (fig. 30.4). Ante esta situación será necesario colocar estructuras de acero llamadas abrazaderas - que sujeten al tubo y hagan trabajar a todo el atraque en conjunto. Estas son vigas acanaladas que se soldan alrededor del tubo y se anclan en la parte inferior del atraque (fig. 31.4). En la tabla 32.a.4 se muestran varios tipos de canales y sus características.

El procedimiento para el diseño de las abrazaderas es similar al de los anillos:

- 1). Se escoge un número m de abrazaderas con un determinado perfil.
- 2). Cada abrazadera soportará la fuerza.

$$FR_y/m = FR \text{ sen } \theta/m \quad \dots\dots\dots \text{(fig. 30.4).}$$

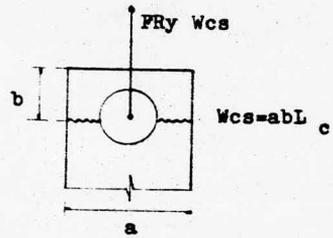
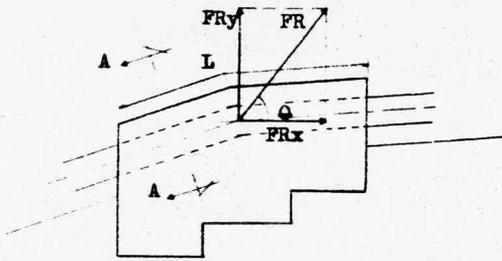
- 3). La fuerza máxima soportada por cada uno de los extremos de las abrazaderas (fig. 32.4), será:

$$f \text{ máx.} = 0.5 f_{yc}$$

en donde

$$c = \text{área de la viga en cm}^2$$

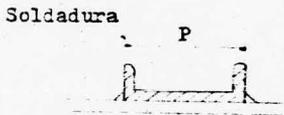
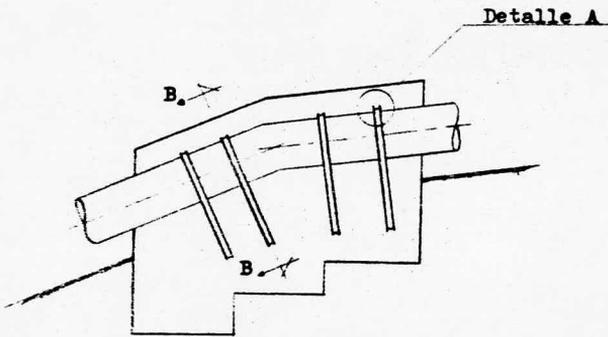
$$f_y = \text{estuerzo permisible del acero en Kg/cm}^2$$



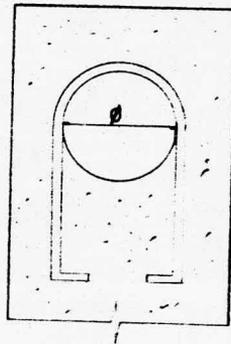
$$Wcs = abL_c$$

Corte A-A

fig. 30.4.



Pared del tubo



Corte B-B

fig. 31.4.

DIMENSIONES Y AREAS DE CANALES*

PERALTE (P)		AREA TRANSVERSAL (c) cm ²
MM	PULG.	
76.2	3	7.68
101.6	4	10.00
152.4	6	15.35
152.4	6	29.42
203.2	8	21.61
203.2	8	40.32
254.0	10	28.77
254.0	10	66.39
304.8	12	38.90
304.8	12	75.87

Tabla 32.a.4.

*Datos tomados del manual Monterrey

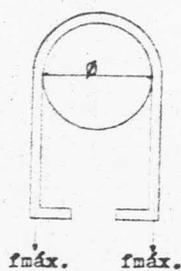


fig. 32.4.

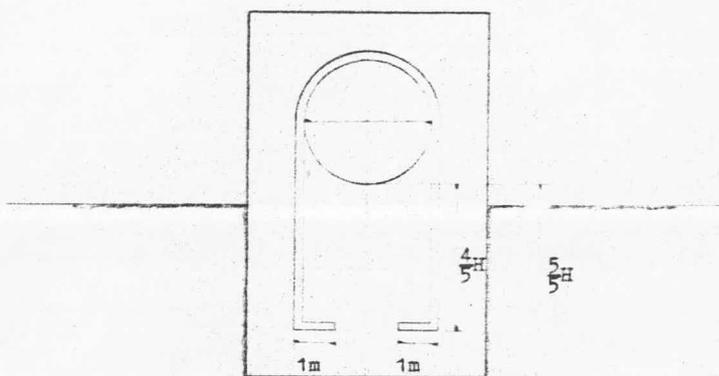
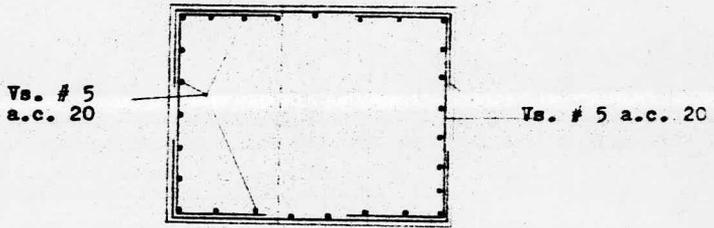
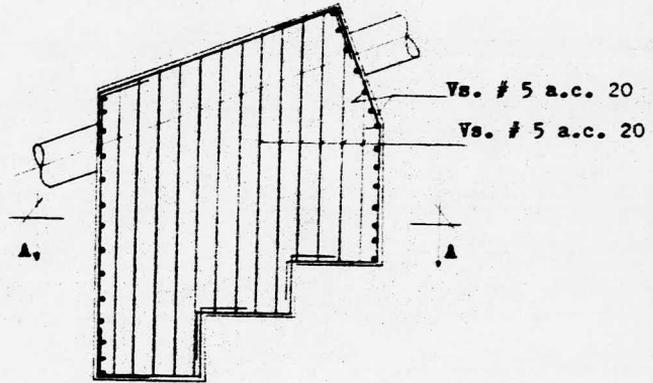


fig. 33.4.



Corte A-A

fig. 34.4.

- 4). La fuerza aportada por cada abrazadera deberá ser mayor que la fuerza aplicada a ésta, o sea:

$$2f \text{ máx} > FRy/m$$

$$2(0.5 f_{yc}) > FR \text{ sen } \theta/m$$

$$f_{yc} > FR \text{ sen } \theta/m$$

La fuerza máxima se multiplica por dos pues son dos extremos por - abrazadera.

- 5). La garganta T de la ceja de soldadura se diseñará considerando la fuerza que resulte de las componentes de FR; el área de cada ceja es:

$$\text{área/ceja} = \frac{\pi D T}{2}$$

y el espesor de T:

$$T = \frac{FRx/m}{\pi D \sigma_w} \quad \text{si } FRx > FRy$$

o

$$T = \frac{FRy/m}{\pi D \sigma_w} \quad \text{si } FRy > FRx$$

en donde: $FRx = FR \cos \theta$; FR en Kg.

$$FR_y = FR \sin \phi; FR \text{ en Kg.}$$

$$TID = \text{área de ambas cejas en cm}^2$$

- 6). La longitud de los extremos de las abrazaderas que quedan ahogadas en el concreto, sera de 4/5 partes de la altura del atraque desde la parte inferior de la tubería hasta su base; se hará un dobléz de 90° de 1 m de longitud, al final de cada extremo para garantizar una perfecta fijación al atraque (fig. 33:4). Las vigas, tanto para anillos conectores como para abrazaderas, se doblarán en frío, para garantizar que el acero no disminuya su esfuerzo de trabajo por efecto del calentamiento.

IV.6. Armado del atraque.

Para absorber los efectos que producen los cambios térmicos, se colocará acero llamado acero por temperatura. El acero por temperatura para un área dada de concreto, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$a_t = cbd$$

en donde

$$a_t = \text{Acero necesario en cm}^2$$

$$C = \text{Coeficiente térmico con valor de 0,003}$$

$$b = \text{Ancho del área estimado en 30 cm}$$

$$d = \text{Peralte del área estimado en 100 cm.}$$

Es decir, se escoge un área estándar de 100 cm X 30 cm, lo que nos da un área de acero de

$$a_t = 0.003 \times 30 \text{ cm} \times 100 \text{ cm} = 9 \text{ cm}^2$$

si escogemos varillas del número 5;

$$a_v \cdot \text{núm. 5} = 1.99 \text{ cm}^2$$

Por lo que la separación entre varillas será:

$$S_v = \frac{a_v \times 100}{a_t} = \frac{1.99 \times 100}{9} = 22 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}.$$

Las varillas estarán espaciadas 20 cm; el atraque se armará en ambos sentidos, dejando un recubrimiento mínimo de 5 cm (fig.34.4), Alrededor del tubo se colocará acero adicional de las mismas características que el del atraque (fig. 35.4).

IV.7. Atraques sobre pilotes.

Algunas veces el esfuerzo permisible del terreno no ofrece la suficiente resistencia a los esfuerzos transmitidos por el atraque. En estas condiciones existen dos soluciones: diseñar un atraque con el cual se logrará reducir los esfuerzos hasta abajo del permisible, pero esto significaría, en muchos casos, la construcción de atraques de dimensiones descomunales que resultarían demasiado costosos y laboriosos; la segunda solución, que resulta más recomendable y barata, sería la inclusión dentro de la cimentación del atraque de pilotes. Estos podrán ser de dos clases.

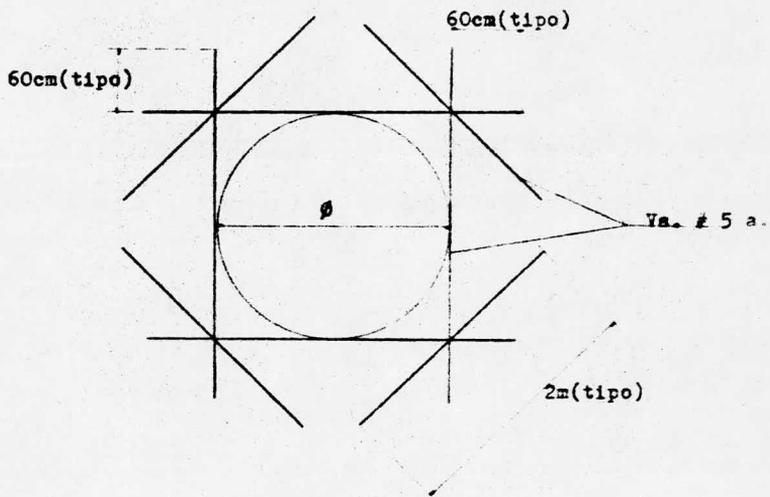


fig. 35.4.

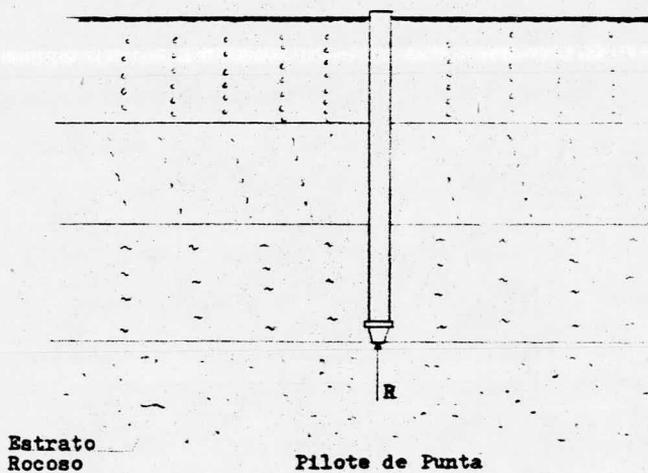


fig. 36.4.

- a). De punta: Cuando solo trabajen con su base inferior apoyada en un estrato rocoso que ofrezca una resistencia bastante superior al terreno de desplante (fig. 36.4).
- b). De fricción: Cuando solo trabajen por la resistencia ofrecida por el rozamiento existente entre las paredes del pilote y el material circundante (fig. 37.4).

La elección del tipo de pilote deseado se hará de acuerdo con los resultados obtenidos de los sondeos mecánicos, tomando en cuenta la solución que sea más eficaz y económica. Por ejemplo, sería preferible colocar pilotes de fricción en lugar de los de punta si el estrato rocoso resistente se encontrara a más de 15 m de profundidad.

La fuerza total que aporta cada tipo de pilote viene dada por las siguientes expresiones:

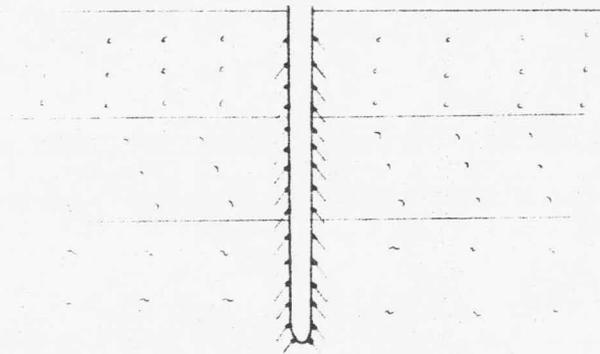
- 1). Para pilotes de punta

$$R_P = \frac{\sigma_r D^4}{4 \text{ F.S.}}$$

en donde

D = Diámetro del pilote en m

σ_r = esfuerzo permisible del estrato rocoso en ton/m²



Pilote de Fricción

fig. 37.4.

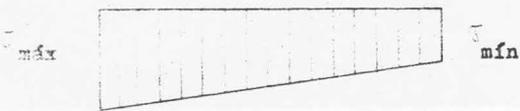


fig. 38.4.

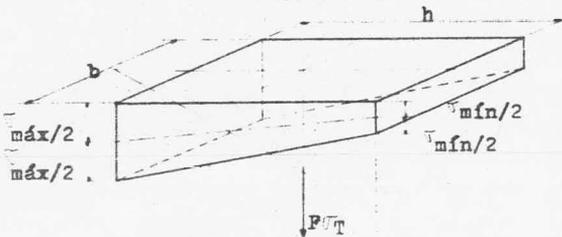


fig. 39.4.

R = Fuerza resistente del pilote en ton.

F.S. = Factor de seguridad, igual a 1.5

2). Para pilotes de fricción.

$$R_f = \frac{\pi D L \bar{c}}{F.S.}$$

en donde:

D = Diámetro del pilote en m

L = Longitud del pilote en m

\bar{c} = Resistencia del terreno al cortante, en ton/m²

F.S. = Factor de seguridad igual a 1.5

La fuerza que deban absorber los pilotes es aquella provocada por el esfuerzo de trabajo. En la figura 38.4 se muestran los diagramas del esfuerzo máximo y mínimo. La fuerza resultante del esfuerzo de trabajo es:

$$F\sigma_t = \frac{(\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n})}{2} A$$

en donde

A = Area de la base del atraque. σ_t pasa por el centroide del diagrama de esfuerzo y la línea de simetría de la base del atraque (fig.39.4).

Disposición de los pilotes.

Los pilotes se agruparán en mayor número dentro de las cercanías del

esfuerzo máximo y se reducirán o podrán formar igual número en la zona de influencia del esfuerzo mínimo. La separación mínima adecuada entre ellos será de tres veces su diámetro, para garantizar que trabajen como conjunto (fig. 40.4).

Revisión de los pilotes.

Para garantizar que el número previsto de pilotes sea el suficiente para resistir la fuerza aplicada, se calcula la resistencia que ofrezcan en conjunto. El número de pilotes previsto será adecuado cuando la resistencia ofrecida por el conjunto sea al menos igual a la resistencia del total de pilotes ofrecida por cada uno, esto es:

$$R_C = nR$$

en donde

n = Número de pilotes

R = Capacidad de cada pilote en ton.

R_C = Capacidad del conjunto.

Con referencia a la fig. 41.4 la revisión se realiza suponiendo que el conjunto de pilotes forma un bloque resistente, de dimensiones $10D \times 7D \times L$, que trabaja por fricción de sus paredes laterales y por compresión en su base; L es la longitud de los pilotes. Así, la capacidad total ofrecida por el bloque supuesto es:

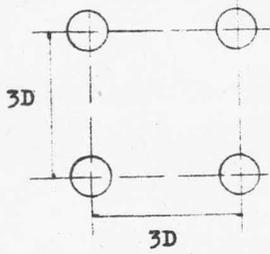


fig. 40.4.

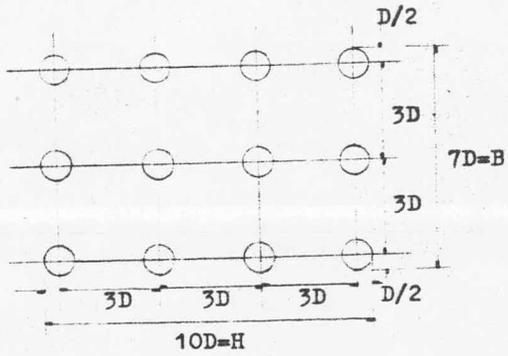


fig. 41.4.

$$R_c = \frac{2(H + B)(L)\bar{\sigma}}{F.S.} + \frac{(H)(B)\sigma_a}{F.S.}$$

$$\sigma_a = 0.95 p \left(1 + 0.3 \frac{B}{L}\right) \dots\dots\dots \text{(esfuerzo por compresión).}$$

El primer término se refiere a la capacidad por fricción y el segundo a la capacidad por compresión.

De lo anterior, podemos ver que, cuanto más se reduzca la separación entre los pilotes, más se reducirá la capacidad ofrecida por el conjunto.

Por último, debemos establecer que los pilotes no se sujetarán a la acción de esfuerzos laterales ya que el atraque deberá por sí sólo absorber los empujes laterales mediante la fricción existente entre su base y el terreno, de manera que sólo se transmitan esfuerzos verticales a aquellos. Tampoco se permitirán fuerzas de tensión.

IV.8. EJEMPLOS

Utilizaremos los ejemplos a, b, c y d del capítulo III tomando la FR obtenida para cada uno con el fin de diseñar el atraque más adecuado para cada caso.

Los datos adicionales que necesitamos son los siguientes:

- 1). Tomaremos un esfuerzo permisible del terreno de 25 ton/m^2

- 2). Consideraremos un ángulo de fricción interna, ϕ , de 50° y un peso específico del terreno, γ_s , de 1.8 ton/m^3
- 3). Consideraremos un coeficiente sísmico de 0.05°

De acuerdo con el ejemplo (a) del capítulo III:

$$FR = 834 \text{ ton}$$

y forma un ángulo ϕ , respecto de la horizontal (fig. 24.3):

$$\phi = 44^\circ$$

En las figuras 42.a.4 y 42.b.4 se muestra el atraque propuesto.

- o Revisión por volteo (sección IV.3):

El peso del atraque será:

$$W_c = V_c \gamma_c$$

en donde

$$V_c = \text{Volumen del atraque en m}^3$$

$$\gamma_c = \text{Peso específico del concreto en ton/m}^3$$

$$W_c = \text{Peso del atraque en ton}$$

De la figura 42.a.4, el área longitudinal del atraque es

$$\text{área} = 12 \times 2 + \frac{4 \times 4}{2} + \frac{4 \times 3}{2} + \frac{(9.4 + 12)}{2} \times 3.13 + 5.7 \times 4.4 + 4.6 \times 4.7$$

*Valor que corresponde aproximadamente a la zona II de la fig. 17.4.

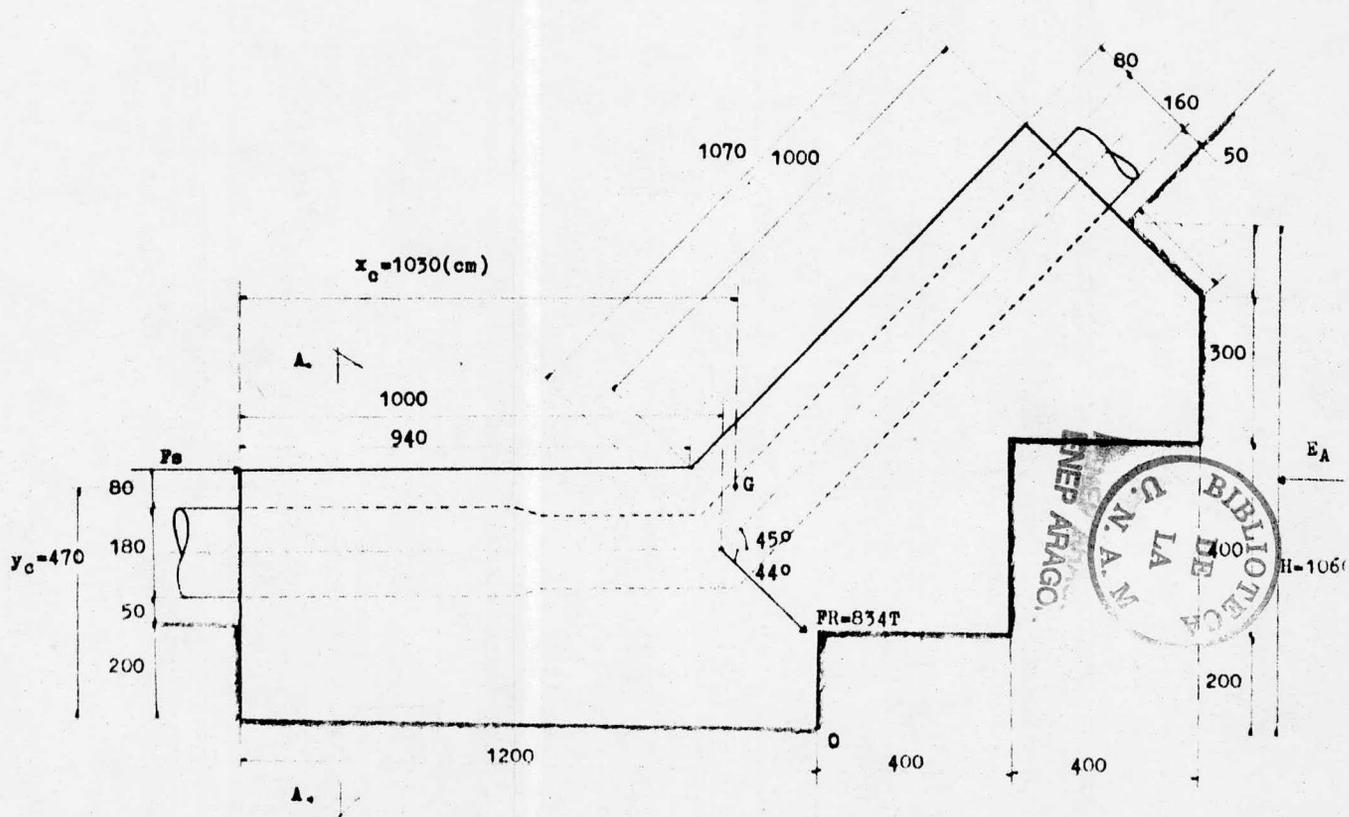
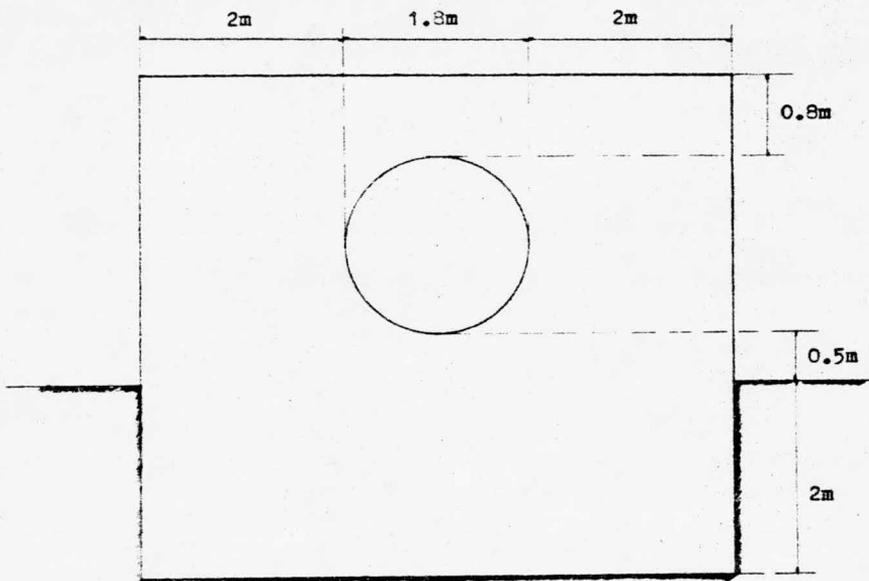
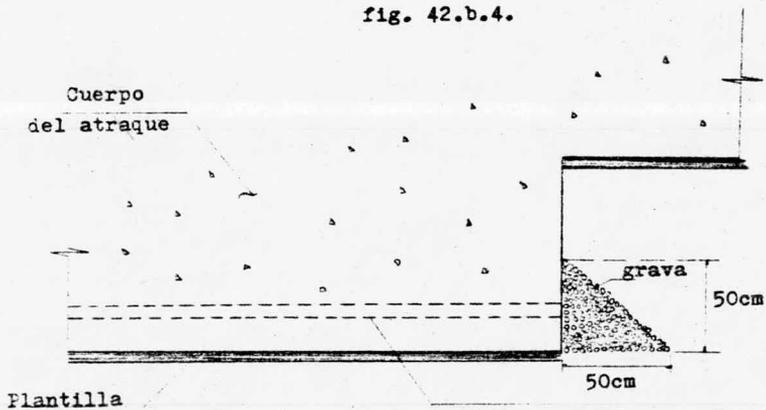


fig. 42.a.4.



Corte A-A

fig. 42.b.4.



Lloradero de fierro galvanizado de 1" de \varnothing (2.54cm)

fig. 43.4.

$$\text{área} = 118.2 \text{ m}^2$$

El volumen, por tanto, es:

$$\text{Vol.} = 118.2 \times 5.83 = 689 \text{ m}^3$$

y el peso

$$W_c = 689 \times 2.4 = 1653.6 \text{ ton}$$

Empleando conceptos de la mecánica elemental encontramos que G, se encuentra localizado como se indica en la figura 42.a.4.

$$\bar{X} = 10.3$$

$$\bar{Y} = 4.7$$

El empuje por tierra (sección IV.2) es:

$$E_A = \frac{1}{2} (1.8) (10.6)^2 \cos 45^\circ \frac{\cos 45^\circ - \sqrt{\cos 45^\circ - \cos 50^\circ}}{\cos 45^\circ + \sqrt{\cos 45^\circ - \cos 50^\circ}} \times$$

$$\times 5.83 = 176.9 \text{ ton}$$

La fuerza por sismo F_s (sección IV.2), es:

$$F_s = cWc = 0.05 \times 1653.6 = 82.7 \text{ ton}$$

La componente FR_x es

$$FR_x = 834 \times \cos 44^\circ = 600 \text{ ton}$$

Tomando momentos respecto del punto 0 indicado de las fuerzas -
actuantes:

$$\begin{aligned} \sum M_0 &= FRx \cdot dy - FRy \cdot dx - E_A \cdot \frac{H}{2} + F_s \cdot ds = \\ &= 600 \times 3.415 - 600 \times 2 - 176.9 \times 5.3 + 82.7 \times 5.13 \\ M_0 &= 335.7 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

que es el momento de volteo que actúa sobre el atraque.

El momento producido por el peso del atraque respecto del punto
0 es:

$$M_c = W_c X = (1653.6)(1.7) = 2811.1 \text{ ton-m}$$

La relación:

$$2811.1 > 335.7$$

$$\frac{2811.1}{335.7} = 8.4 > 2.0$$

cumple con el requisito especificado, por tanto, el bloqueo no
se volteará

o Revisión por deslizamiento (sección IV.3):

$$\mu W_c = 0.5 \times 1653.6 = 826.8 \text{ ton}$$

Las fuerzas horizontales actuantes son

$$FX = FRx + F_s - E_A - 600 + 82.7 - 176.9 = 505.8 \text{ ton}$$

Que como se ve, son menores que la fuerza por fricción o sea:

$$\Sigma FX (505.8 \text{ ton}) < 826.8$$

Por tanto el atraque no se deslizará; nótese que aún, sin aprovechar el empuje de tierras E_A que ayuda a contrarrestar a FRx , el atraque no se deslizará, esto es:

$$FRx + F_s = 682.7 \text{ ton}$$

y

$$682.7 \text{ ton} < 826.8 \text{ ton}$$

relación:

$$\frac{826.8}{505.8} = 1.63 > 1.5$$

cumple con el factor de seguridad indicado.

o Revisión por esfuerzos en el terreno (sección IV.4):

Usaremos el método analítico descrito en la sección IV.4

$$A = 20 \times 5.83 = 116.6 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{5.83 \times (20)^3}{12} = 3420 \text{ m}^4$$

$$\bar{y} = \frac{20}{2} = 10 \text{ m}$$

El momento actuante es:

$$M = FRx \cdot dy - E_A \frac{H}{2} + F_S \cdot ds = 600 \times 3.415 - 176.9 \\ \times 5.3 + 82.7 \times 5.13 = 1553.7 \text{ ton-m}$$

$$P = \Sigma Fy = W_C + FRy = 2253.6$$

y, por tanto

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{A} + \frac{My}{I} = \frac{2256.6}{116.6} + \frac{(1535.7)(10)}{3420}$$
$$\sigma_{\text{mín}} = \frac{P}{A} - \frac{My}{I} = \frac{2256.6}{116.6} - \frac{(1535.7)(10)}{3420}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 19.3 + 4.5 = 23.8 \text{ ton/m}^2 < 25 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 19.3 - 4.5 = 14.8 \text{ ton/m}^2 < 25 \text{ ton/m}^2$$

Como hemos visto, nuestro atraque cumple satisfactoriamente todos los requisitos por lo que se acepta.

Como dijimos, en deflexiones el cuerpo mismo de la tubería ahogada en concreto evita los movimientos de aquella, por lo que no requerimos de anillos conectores. El armado por temperatura del atraque se dispone como lo indicado en la sección IV.6. Antes de desplantar la estructura se colocará siempre una plantilla de concreto pobre (100 Kg/cm^2), de 5 cm de espesor. Por último, para evitar fuerzas originadas por los empujes hidrostáticos, se colocará una cama de grava en la parte inferior del atraque y lloraderos de fierro galvanizado de 1" de diámetro espaciados 50 cm por los que pueda fluir

el agua** (fig. 43.4).

b). De acuerdo con el ejemplo (b) del cap. III:

$$FR = 46.9 \text{ ton}$$

y forma un ángulo θ , respecto de la horizontal (fig.26.3):

$$\theta = 45^\circ$$

las figuras: 44.a.4 y 44.b.4 muestran el atraque propuesto.

o Revisión por volteo:

El área longitudinal del atraque es:

$$\begin{aligned} \text{área} &= 1 \text{ trapecio} + 7 \text{ triangulos} + 6 \text{ rectangulos} = \\ &= \frac{(14.2 + 18.8) \times 4.2}{2} + \frac{2^2}{2} + \frac{1}{2} + 4 \times 2 \times 2 + 3 \times 2 + 1 \times 2 \end{aligned}$$

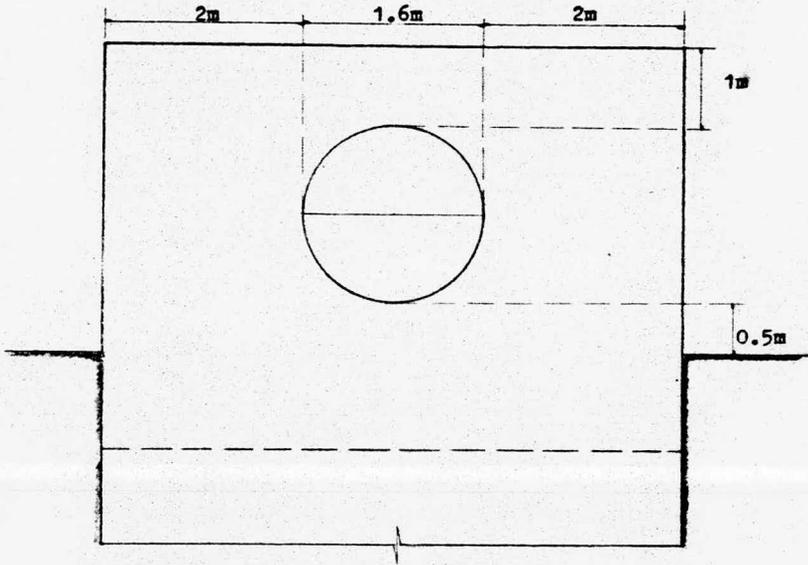
$$\text{área} = 105.8 \text{ m}^2$$

$$\text{vol.} = 105.8 \times 5.6 = 592.5 \text{ m}^3$$

el peso, por tanto es:

$$W_c = 592.5 \times 2.4 = 1492 \text{ ton.}$$

** De acuerdo con las normas constructivas de SAHOP, SARH y DGCOH.



Corte A-A

fig. 44.b.4.

El centro de gravedad esta referido respecto del punto 0, como se indica en la figura 44.a.4.

$$X_C = 6.2 \text{ m}$$

$$Y_C = 8.3 \text{ m}$$

El empuje por tierra, E_A , es

$$E_A = \frac{1}{2} (1.8) (14)^2 \cos 45^\circ \frac{\cos 45^\circ - \sqrt{\cos 45^\circ - \cos 50^\circ}}{\cos 45^\circ + \sqrt{\cos 45^\circ - \cos 50^\circ}} \times 5.6$$

$$E_A = 296 \text{ ton}$$

La fuerza por sismo, F_S , es:

$$F_S = 0.05 \times 1492 = 74.6 \text{ ton}$$

El brazo promedio de palanca, d_s para F_S es:

$$d_s = \frac{H_A + H_B}{2} = 12.5 \text{ m}$$

El brazo de FR_x es

$$d_y = 9.5 \text{ m}$$

Y

$$FR_x = 46.9 \times \cos 45^\circ = 33.2 \text{ ton}$$

El brazo de palanca de FR_y es

$$d_x = 5.7 \text{ m}$$

$$FR_y = 46.9 \sin 45^\circ = 33.2 \text{ ton}$$

Tomando momentos respecto de 0,

$$\begin{aligned} \sum M &= F_s \cdot d_s + FRx \cdot d_y + E_A \cdot \frac{H}{2} - FRy \cdot d_x \\ &= 74.6 \times 12.5 + 33.2 \times 9.5 + 296 \times 7 - 33.2 \times 5.7 \\ \sum M &= 3131 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

El momento producido por el peso del atraque, respecto de 0, es:

$$\begin{aligned} M_c &= Wc \cdot \bar{X} = 1492 \times 6.2 = 9250 \text{ ton-m} \\ 9250 \text{ ton-m} &> 3131 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

La relación: $\frac{9250}{3131} = 2.95 > 2.0$

por lo tanto, el atraque no sufrirá volteo.

o Revisión por deslizamiento:

$$\mu \cdot Wc = 0.5 \cdot 1492 = 746 \text{ ton}$$

las fuerzas adicionales que actúan son

$$\sum Fx = FRx + E_A + F_s = 403.8 \text{ ton}$$

$$\frac{746}{403.8} = 1.85 > 1.5$$

por tanto, el atraque no se deslizará.

o Revisión por esfuerzos sobre el terreno:

Emplearemos el método analítico:

$$A = 13 \times 5.63 = 73.2 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{5.63 \times 13^3}{12} = 1031 \text{ m}^4$$

$$Y = \frac{13}{2} = 6.5 \text{ m}$$

El momento actuante es:

$$M = 3131$$

La fuerza vertical P es:

$$P = Wc + FRy = 1492 + 33.2 = 1525.2 \text{ ton}$$

y, por tanto:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{A} \pm \frac{MY}{I}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{1525.2}{73.2} \pm \frac{3131 \times 6.5}{1031}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 20.8 + 19.7 = 40.5 \text{ ton/m}^2 > \sigma_p$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 20.8 - 19.7 = 1.1 \text{ ton/m}^2 > \sigma_p$$

Dado que el esfuerzo máximo es mayor que el esfuerzo permisible, usaremos pilotes de fricción.

Los datos adicionales necesarios son los siguientes:

- 1). La longitud deseada de los pilotes es de 10 m.
- 2). El diámetro de cada pilote es de 50 cm.
- 3). De acuerdo con los estudios de mecánica de suelos se estima que la resistencia promedio al cortante $\bar{\sigma}$ es $\frac{1}{2}$ de σ_p , o sea:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{2} (25) = 12.5 \text{ ton/m}^2$$

De acuerdo con la sección IV.7 la fuerza, $F\sqrt{t}$, que absorberán los pilotes será:

$$F\sqrt{t} = \frac{(40.5 + 1.1)}{2} \times 73.2 = 1523 \text{ ton}$$

La capacidad de cada pilote es:

$$R_f = \frac{\pi D L \bar{\sigma}}{f.s.} = \frac{\pi (0.5) (10) (12.5)}{1.5} = 131 \text{ ton}$$

El número de pilotes requerido es:

$$N = \frac{F\sqrt{t}}{R_f} = \frac{1523}{131} = 11.6$$

Se usarán 12 pilotes

La disposición sugerida se muestra en la fig. 45.4

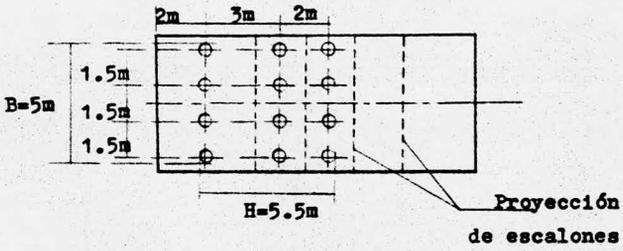


fig. 45.4.

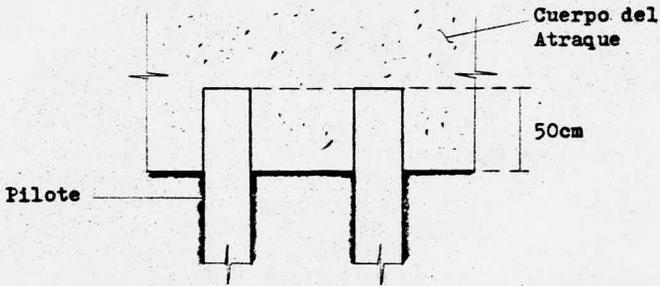


fig. 46.4.

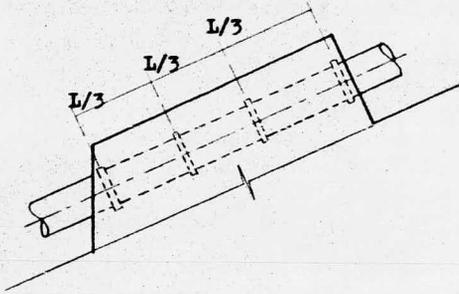


fig. 47.4.

REVISION DE LOS PILOTES.

La capacidad total del conjunto es:

$$R_c = \frac{2(5.5 + 5)(10)(12.5)}{1.5} + (5.5)(5)(0.95)(25)\left(1 + \frac{5}{5.5}0.3\right)$$

$$R_c = 1839 \text{ ton} > 1522$$

Los pilotes trabajarán eficazmente. Quedarán ahogados en una longitud de 50 cm. en el cuerpo del atraque (fig. 46.4). Puesto que el tubo es recto debemos colocar anillos conectores. Escogeremos 4 anillos formados con ángulo de 6" X 1" que tiene el espesor de tubo (25.4 mm vs. 30mm), y una garganta del $\frac{1}{8}$ "

$$T = \frac{46900 \text{ sen } 45^\circ/4}{2 \text{ II } (160)(100)} = 0.08 \text{ cm} = 1 \text{ mm.}$$

Por tanto, se colocarán 4 anillos soldados con ceja de soldadura del $\frac{1}{16}$ " , igualmente espaciados sobre la longitud del tubo embebida en el atraque (fig. 47.4). El armado se hará con varillas Núm. 5 a cada 20 cm, formado el cajón (sección IV.6). Se colocará una planilla de 5 cm antes de desplantar la estructura. También se colocarán lloraderos y una cama de grava, con las especificaciones dadas en el ejemplo anterior (fig. 43).

c). De acuerdo con el ejemplo (c) del capítulo III.

$$FR = 201 T$$

y forma un ángulo respecto del eje del tubo (fig. 29.3) de:

$$\phi = 50.7^\circ$$

y un ángulo vertical de

$$= 5.7^\circ$$

En las figuras 48.a.4 y 48.b.4 se muestra el atraque sugerido.

o Revisión por volteo:

El área longitudinal promedio del atraque es:

área = 3 trapecios - 1 triángulo

$$\begin{aligned} \text{área} &= \frac{(6.5 + 10.5) \times 4}{2} + \frac{(8.5 + 11.1) \times 4}{2} + \frac{(8.1 + 10.8) \times 4}{2} \\ &- \frac{2.1 \times 3.1}{2} \end{aligned}$$

$$\text{área} = 111 \text{ m}^2$$

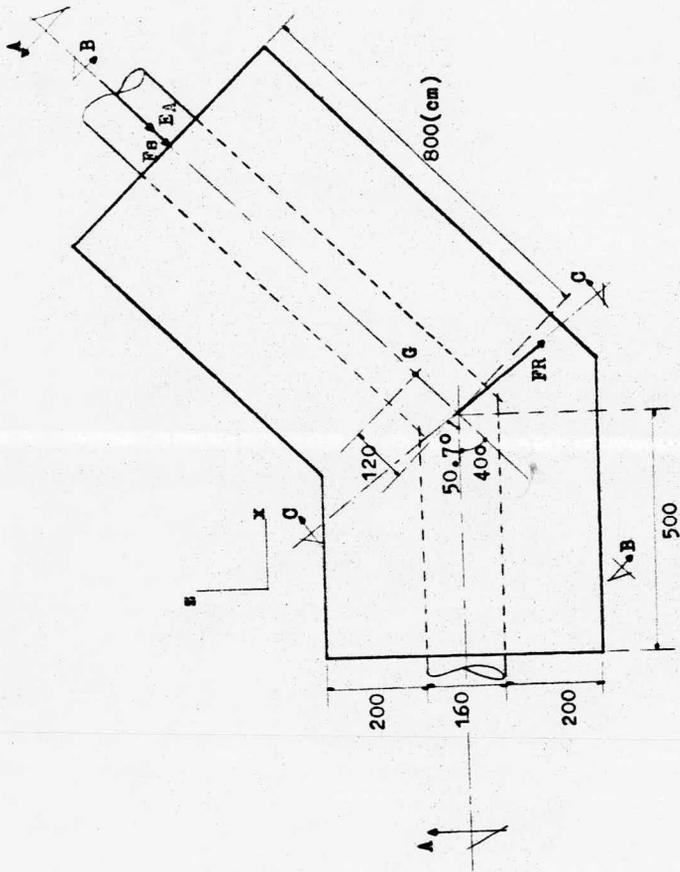
$$\text{vol.} = 111 \times 5.6 = 622 \text{ m}^3$$

y el peso, por tanto, es:

$$W_c = 622 \times 2.4 = 1\,493 \text{ ton}$$

La componente $FR_x = 85 \cos 5.7^\circ = 84.6 \text{ ton}$

El centro de gravedad del atraque, visto de perfil y referido del punto 0 (fig. 48.b.4), está a:



PIANTA

fig. 48.a.a.4.

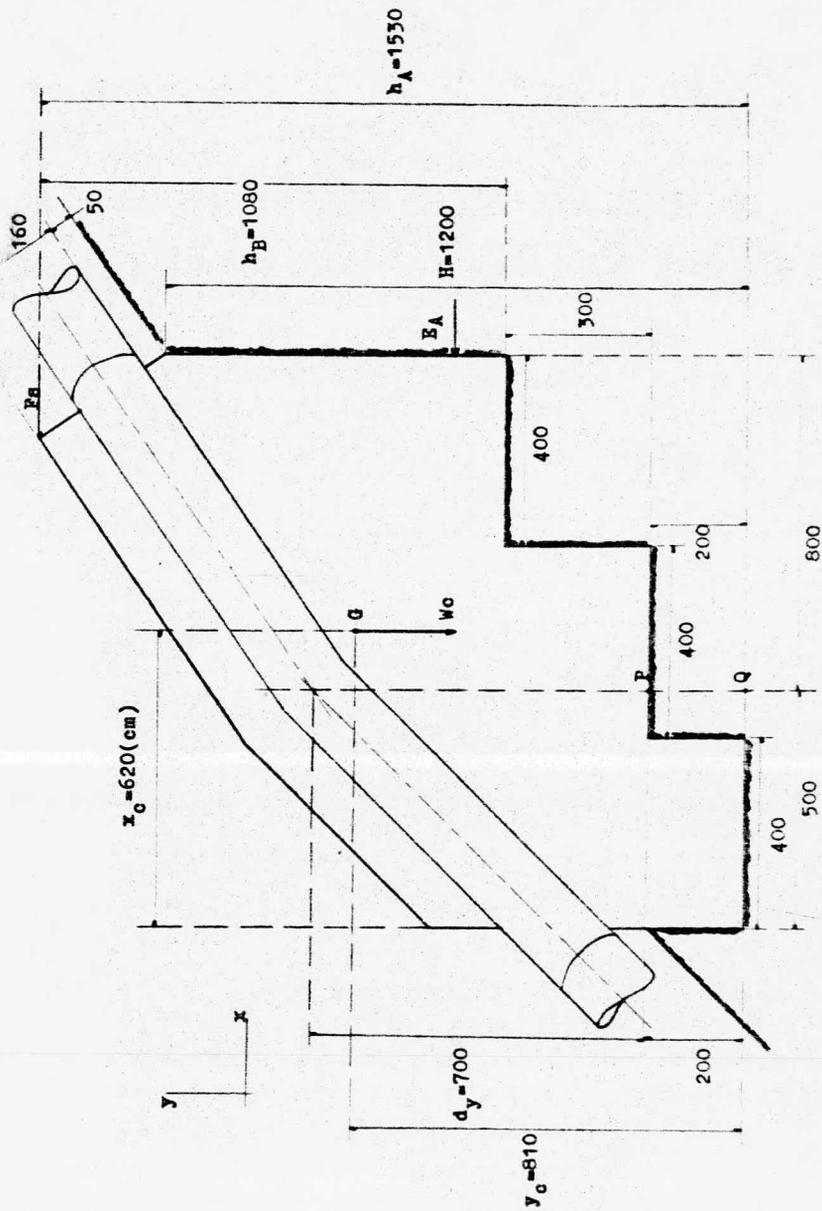


fig. 48.b.4.

$$X_c = 6.2 \text{ m}$$

$$Y_c = 8.1 \text{ m}$$

Y visto en planta está a 1.2 m del punto de flexión del atraque sobre el eje del tubo aguas arriba. (fig. 48.a.4) Tomando momentos respecto del punto P (proyección vertical sobre la base del atraque, del punto de flexión) (fig. 48.b.4) y refiriendo las fuerzas respecto al eje 'Z' mostrado en la planta (fig. 48.a.4), tenemos:

$$FR_z = FR \cos 50.7^\circ = 54 \text{ ton}$$

$$dy = 7 \text{ m}$$

El brazo de W_c es:

$$dc = 1.2 \times \cos 40^\circ = 0.92 \text{ m}$$

El momento actuante es:

$$M_p = 54 \times 7 = 378 \text{ ton-m}$$

El momento de W_c es:

$$M_{pc} = 1493 \times 0.92 = 1374 \text{ ton-m} > 378$$

$$\frac{1374}{378} = 3.6 \quad 1.5$$

Por tanto, bajo la acción de FR, el atraque no volcará.

El empuje EA es:

$$E_A = \frac{1}{2} H^2 \cos \theta \frac{\cos \theta - \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \phi}}{\cos \theta + \sqrt{\cos^2 \theta - \cos^2 \phi}} \cdot 1$$

en donde $\theta = 35^\circ$

Por lo que:

$$E_A = \frac{1}{2} (1.8) (12)^2 (0.2) (5.6) = 145 \text{ ton}$$

$$d_{EA} = \frac{H}{2} = 6 \text{ m}$$

La fuerza por sismo es:

$$f_s = 0.05 W_c = 75 \text{ ton}$$

$$d_s = \frac{h_A + h_B}{2} = \frac{15.3 + 10.3}{2} = 12.8 \text{ m}$$

Tomando momentos respecto de Q (intersección de la proyección vertical del punto de flexión y la proyección horizontal del escalón más bajo de la base del atraque) y refiriendo las fuerzas respecto al eje del tubo aguas abajo, tenemos:

$$\begin{aligned} \Sigma M_Q &= (f_s \cdot d_s + E_A \cdot H) \cos 40^\circ = \Sigma M = (75 \times 12.8 + 145 \times 6) \cdot \\ &\cdot \cos 40^\circ = 1402 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

El momento producido por W_c es:

$$M_{QC} = W_c \cdot d_c = 1493 (5 + 1.2 \cos 40^\circ) = 8837 > 1402$$

$$\frac{8837}{1402} = 6.3 > 2.0$$

Por tanto bajo la acción de f_s y E_A , el atraque tampoco volcará.

o Revisión por deslizamiento:

$$\mu \cdot W_C = 746 \text{ ton}$$

para sismo de empuje:

$$F_x = f_s + E_A = 220 < 746$$

$$\frac{746}{220} = 3.4 > 1.5$$

Para FRx:

$$FR_x = FR \cos 5.7^\circ = 200 \text{ ton} < 746 \text{ ton}$$

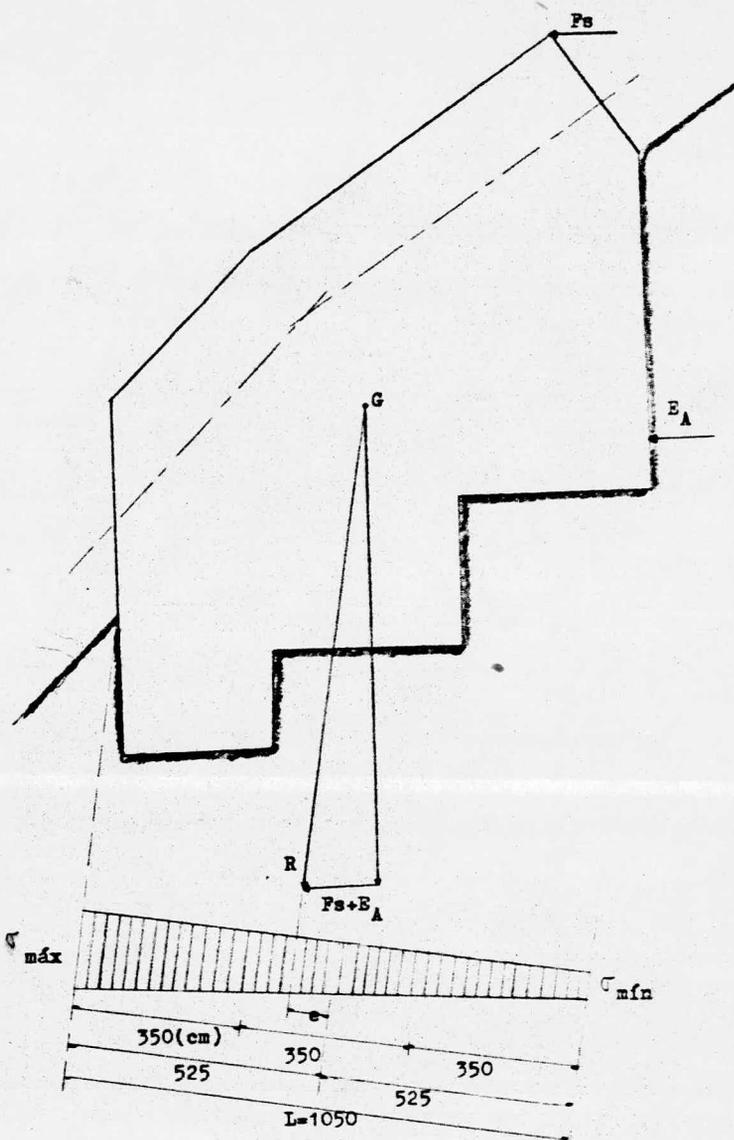
$$\frac{746}{200} = 3.73 > 1.2$$

por tanto, el atraque no se deslizará.

o Revisión por esfuerzo en el terreno:

Usaremos el método gráfico por lo complicado de la base. Revisaremos primero para f_s y E_A ; para ello hacemos un corte B-B sobre la línea de acción de aquellas. De acuerdo a lo indicado en la sección IV.4, de la fig. 49.4 vemos que:

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{R}{1L} \frac{(1+6e)}{L}$$



Corte B-B

fig. 49.4.

en donde:

$$R = 1523 \text{ ton}$$

$$l = 5.6 \text{ m (ancho del atraque)}$$

$$e = 0.8 \text{ m}$$

$$L = 10.5 \text{ m}$$

Sustituyendo:

$$\sigma_{\text{máx.}} = \frac{1523}{10 \times 5.6} \left(1 + \frac{6 (0.8)}{12} \right)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 27.2 (1 + 0.4) = 38.1 \text{ ton/m}^2 > 25 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 27.2 (1 - 0.4) = 16.3 \text{ ton/m}^2 < 25 \text{ ton/m}^2$$

Ahora revisamos para FR, por lo que efectuamos un corte C-C a lo largo de la línea de acción de ésta, como se muestra en la figura 50.4; de la misma, tenemos:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{R}{Ll} \left(1 + \frac{6e}{L} \right)$$

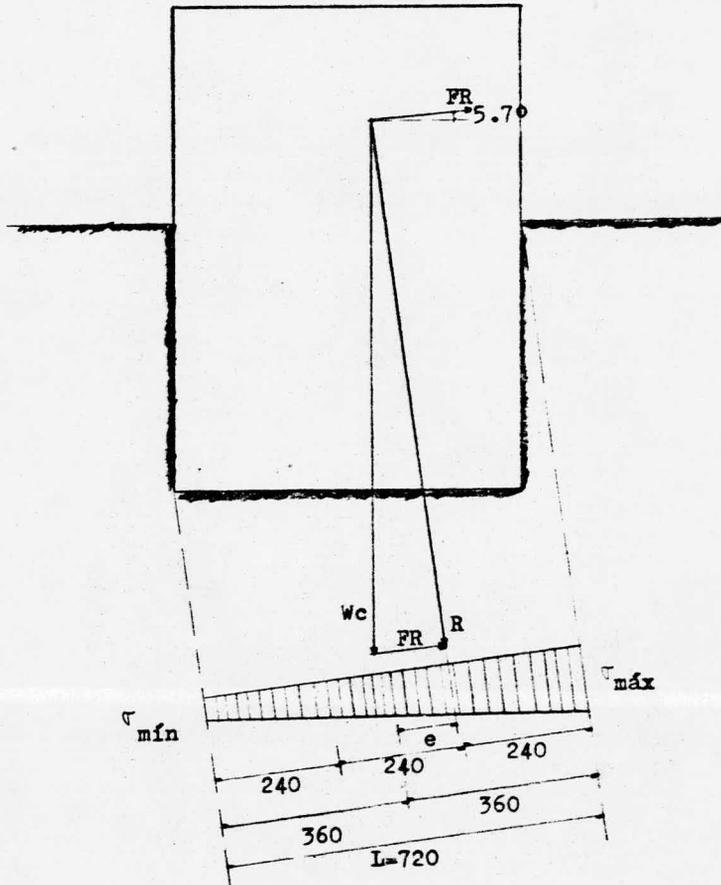
en donde:

$$R = 1478 \text{ ton}$$

$$l = 12 \text{ m (longitud de la línea de corte B-B)}$$

$$e = 1.1 \text{ m}$$

$$L = 7.2 \text{ m}$$



Corte C-C

fig. 50.4.

Sustituyendo:

$$\sigma_{\text{máx}} = 17(1 + 0.9) = 32.3 \text{ ton/m}^2 > 25 \text{ ton/m}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = 17(1 - 0.9) = 1.7 \text{ ton/m}^2 < 25 \text{ ton/m}^2$$

De lo anterior, observamos que el esfuerzo máximo será cuando actúen f_s , E_A y FR a la vez, es decir el esfuerzo total máximo será la suma de los esfuerzos máximos de cada condición, esto es:

$$\sigma_{\text{máx}} = 38.1 + 32.2 = 70.4 \text{ ton/m}^2 > 25 \text{ ton/m}^2$$

De la misma forma, para el esfuerzo mínimo total tenemos:

$$\sigma_{\text{mín}} = 16.3 + 1.7 = 18 \text{ ton/m}^2 > 25 \text{ ton/m}^2$$

Puesto que el esfuerzo máximo es mayor que el esfuerzo permisible, usaremos pilotes de fricción, considerando los datos del ejemplo (b) de esta sección.

Así la fuerza $F\sigma_T$ absorbida por los pilotes es:

$$F\sigma_T = \frac{(\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}})}{2} A$$

en donde:

A = área de la base

$$F\sigma_T = \frac{(70.4 + 18)}{2} \times 13 \times 5.6 = 3218 \text{ ton}$$

La capacidad de cada pilote, del ejemplo (b) es:

$$R_f = 131 \text{ ton.}$$

Por lo tanto el número requerido de pilotos es:

$$N = \frac{3218}{131} = 24,6$$

Se usarán 25 pilotos dispuestos como se muestra en la figura 51,4

REVISION DE LOS PILOTES.

El perímetro del conjunto es:

$$\text{per.} = 26,7 \text{ m}$$

y el área horizontal:

$$\text{área} = \frac{(4,5 + 3,5)}{2} \times \frac{(8 + 10,7)}{2} = 37,4 \text{ m}^2$$

Por lo que la capacidad total es:

$$R_c = \frac{(26,7)(10)(12,5)}{1,5} + (37,4)(0,95)(25)(1 + 0,3 \frac{4}{9,35})$$

en donde:

$$4 = \frac{4,5 + 3,5}{2}$$

$$9,35 = \frac{10,7 + 8}{2}$$

$$R_c = 3227 \text{ ton} > 3218 \text{ ton}$$

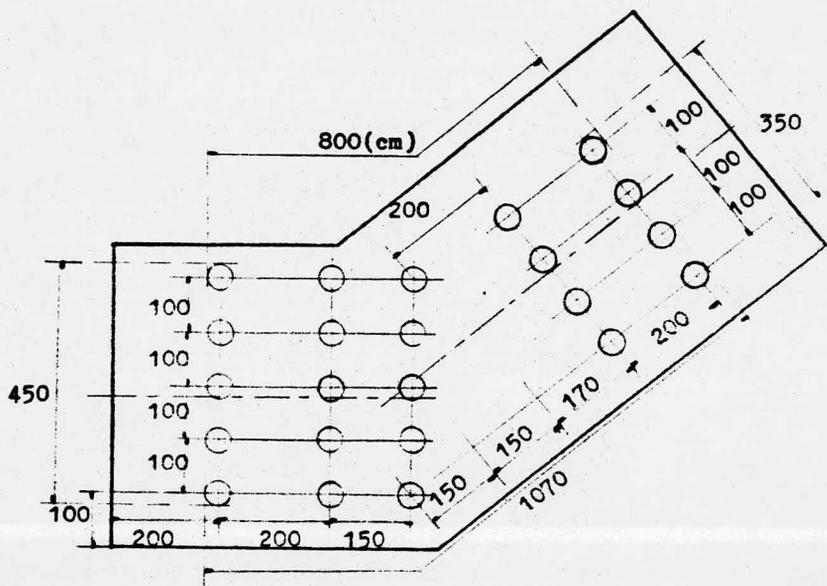


fig. 51.4.

Los pilotes trabajarán satisfactoriamente y se ahogarán 50 cm. en el cuerpo del atraque. Dado el tipo de deflexión no harán falta anillos conectores ni abrazaderas. El atraque se armará como lo indicado en la sección IV.6 y se colocarán lloraderos como indicamos en el ejemplo (a), así como se desplantarán sobre una plantilla de concreto pobre (100 Kg/m^2) de 5 cm de espesor.

d). De acuerdo con el ejemplo (d) del cap. III

$$FR = 85 \text{ ton}$$

y forma ángulo, θ , respecto de la horizontal (fig. 31.3):

$$\theta = 78.2$$

En la figura 52.4 se muestra el atraque propuesto.

o Revisión por volteo:

El área longitudinal del atraque es:

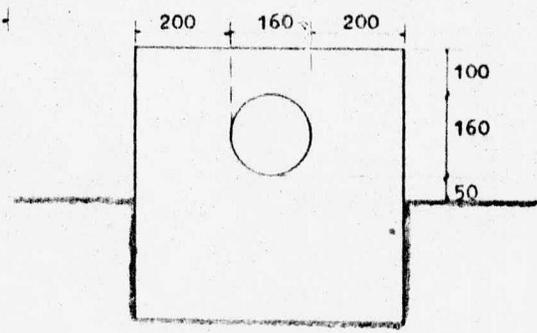
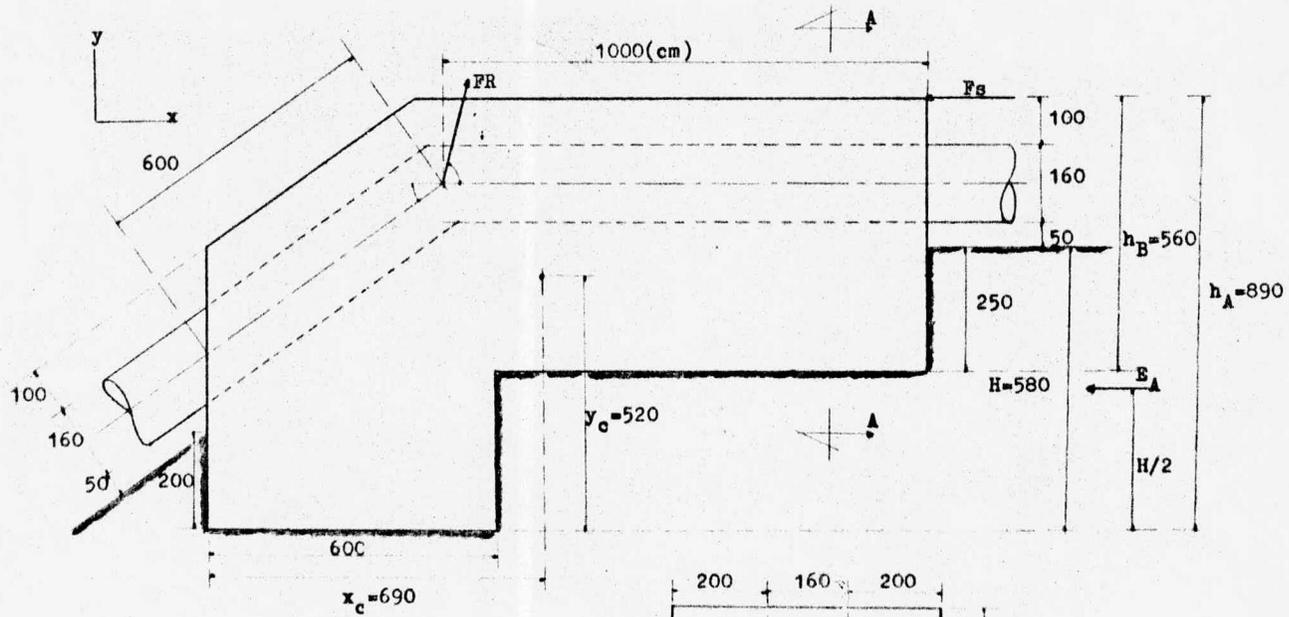
$$\text{área} = 2 \text{ rectangulos} = 1 \text{ triangulo} = 9.9 \times 6 + 9 \times 5.6 - 2.9$$

$$\text{área} = 100.9 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol. } 100.9 \text{ m}^2 \times 5.6 = 565 \text{ m}^3$$

El peso por tanto es:

$$W_c = 565 \times 2.4 = 1356 \text{ ton}$$



Corte A-A

El centro de gravedad, referido respecto del punto O, es :

$$X_C = 6.9 \text{ m}$$

$$Y_C = 5.2 \text{ m}$$

El empuje por tierra, E_A , es :

$$E_A = \frac{1}{2} \text{Tg}^2 \left(45 - \frac{\theta}{2} \right) H^2 \gamma$$
$$E_A = \frac{1}{2} \text{Tg}^2 \left(45 - \frac{50}{2} \right) (1.8) (5.8)^2 (5.6) = 22.5 \text{ ton}$$

La fuerza por sismo es :

$$F_s = 0.05 \times 1356 = 68 \text{ ton}$$

El momento de volteo más desfavorable es cuando el tubo esté vacío, pues E_A y F_s no se ven disminuidos al no existir FRX.

Los brazos de palanca son :

$$d_s = \frac{8.9 + 5.6}{2} = 7.25$$

$$d_{EA} = \frac{5.8}{2} = 2.9$$

Tomando momentos respecto de O,

$$+\Sigma M = F_s \cdot d_s + E_A \cdot d_{EA} = 68 \times 7.25 + 22.5 \times 2.9$$

$$M = 558 \text{ ton-m}$$

El momento de W_C respecto de O es :

$$M_C = 1356 \times 6.9 = 9356 \text{ ton-m}$$

$$\frac{9356}{558} = 16.8 > 2.0$$

Por tanto, el atraque no se volteará

° Revisión por deslizamiento :

$$\mu \cdot W_c = 0.5 \times 1356 = 678 \text{ ton}$$

$$\Sigma F_x = F_s + E_A \text{ (condición más desfavorable)}$$

$$\Sigma F_x = 68 + 22.5 = 90.5 \text{ ton}$$

$$678 > 90.5$$

$$\frac{678}{90.5} = 7.5 > 1.5$$

Por tanto, el atraque no se deslizará

° Revisión por esfuerzos sobre el terreno :

emplearemos el método analítico

$$A = 15 \times 5.6 = 84 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{5.6 \times 15^3}{12} = 1575 \text{ m}^4$$

$$\bar{y} = \frac{h}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ m}$$

El momento actuante es :

$$\Sigma M = 558 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

La fuerza vertical es :

$$P = W_c \text{ (más desfavorable)}$$

y, por tanto:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{A} + \frac{M\bar{y}}{I}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{1356}{84} + \frac{558 \times 7.5}{1575}$$

$$\nabla_{\text{máx}} = 16.1 + 2.7 = 18.8 \text{ ton/m}^2 < 25 \text{ ton/m}^2$$

$$\nabla_{\text{mín}} = 16.1 - 2.7 = 13.3 \text{ ton/m}^2 < 25 \text{ ton/m}^2$$

Se ve que los esfuerzos transmitidos son menores.

Como el atraque cumple con todas las condiciones se acepta.

Se armará y se colocará lloraderos como hemos indicado en el ejemplo (a) de éste capítulo; se desplantará sobre una plantilla de concreto pobre de 5 cm. de espesor.

Colocaremos para mayor seguridad 4 abrazaderas, hechas con canal de 4" (101.5 mm) de $f_y = 4000 \text{ Kg/cm}^2$. La resistencia aportada por las abrazaderas es :

$$4 \times 2 \times 0.5 \times f_y \times C$$

$$C = 10 \text{ cm}^2$$

$$F_t = 4 \times 2 \times 0.5 \times 4000 \times 10 = 160 \text{ 000 Kg.}$$

$$F_t = 160 \text{ ton}$$

$$FR_y = 85 \text{ sen } 78.2 = 83 \text{ ton}$$

Se colocarán espaciadas a cada $\frac{1}{4}$ de longitud del tubo embebido en el atraque, soldadas con soldadura de $\frac{2''}{16}$ de garganta.

V. CONCLUSIONES

Hemos visto a lo largo del desarrollo de este trabajo, la necesidad que existe del conocimiento y manejo de conceptos físicos y mecánicos sin los cuales no podría diseñarse el atraque, así como de aspectos constructivos que garanticen el buen funcionamiento de aquél.

Por tanto, recalcamos el importante papel que juegan los conocimientos teóricos que, combinados con adecuados estudios mecánicos del terreno, nos permitirán lograr estructuras dentro del marco de la seguridad tanto en eficiencia como en duración.

Los métodos que empleamos en este trabajo, con algunas variantes, pueden aplicarse en el diseño de estructuras de empotramiento de tuberías que conduzcan líquidos distintos del agua o gases a alta presión, tales como oleoductos, gasoductos, etc.

Espero que este trabajo de tesis sea de utilidad a los estudiantes de ingeniería y/o aquellos interesados en esta área de conocimiento.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Condote Forzate. Hugo Moriggi.
- 2) Manual del AWWA
- 3) Formulario para el cálculo de tuberías forzadas. Calvo Mijangos.
- 4) Design of steel structures. Edwin H. Gaylord Jr.
- 5) Mecánica de suelos. Tomo II, Juárez Badillo y Rico Rquez.
- 6) Mecánica analítica para ingenieros. Seely y Ensign
- 7) Foundation Engineering. Ralph B. Peck, Walter E. Hanson

"Jesús Estrella"
521-20-73  526-01-76
BOLIVIA No. 4