



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

96
2EJ

“METODOS DE LEVANTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE
REESTABLECIMIENTO DE TRANSMISION DE ENERGIA, USADAS
PARA LA PREVENCION DE DESASTRES”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

SAMUEL LOPEZ TAGLE CHERNOVETZKY

VICTOR HUGO RODRIGUEZ GOMEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. en S. JOAQUIN REBUELTA GUTIERREZ



MEXICO, D. F.

1995

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

96
2EJ

"METODOS DE LEVANTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE
REESTABLECIMIENTO DE TRANSMISION DE ENERGIA, USADAS
PARA LA PREVENCION DE DESASTRES"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

SAMUEL LOPEZ TAGLE CHERNOVETZKY

VICTOR HUGO RODRIGUEZ GOMEZ



DIRECTOR DE TESIS:
M. en S. JOAQUIN REBUelta GUTIERREZ

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señores

SAMUEL LOPEZ TAGLE CHERNOVETZKY
VICTOR HUGO RODRIGUEZ GOMEZ

Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-118/94

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M. en S. JOAQUIN REBUelta GUTIERREZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"METODOS DE LEVANTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE RESTABLECIMIENTO DE TRANSMISION DE ENERGIA, USADAS PARA LA PREVENCION DE DESASTRES"

PROLOGO

INTRODUCCION

- I . DESCRIPCION DE COMPONENTES**
 - II . DESCRIPCION DE CONFIGURACIONES POSIBLES**
 - III. TRABAJOS PREVIOS AL LEVANTAMIENTO**
 - IV . LEVANTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE EMERGENCIA**
 - V . DESCRIPCION Y MANEJO DEL PAQUETE DE COMPUTADORA**
 - VI . ANALISIS BENEFICIO VS COSTO DE LA ADQUISICION DE LAS ESTRUCTURAS**
- COMENTARIOS, MEJORAS Y CONCLUSIONES**
ANEXOS
BIBLIOGRAFIA

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

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

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, a 22 de agosto de 1994.

EL DIRECTOR.

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

11.

JMCS/RCR*nl1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**" METODOS DE LEVANTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS DE
RESTABLECIMIENTO DE TRANSMISION DE ENERGIA, USADAS PARA LA
PREVENCION DE DESASTRES"**

Tema que presentan :

Victor Hugo Rodríguez Gómez y Samuel López Tagle Chernovetzky

Para obtener el título de Ingeniero Civil

Mayo de 1995

Agradecimientos

Victor Hugo Rodríguez Gómez

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme el lujo de pertenecer a ella.

A la Facultad de Ingeniería, por haberme formado como profesionista y como persona.

A mis Padres Nemorio y Graciela, por brindarme su apoyo, cariño y comprensión siempre.

A mis Hermanas Claudia y Karina, por impulsarme a ser cada día mejor.

A mi Tío Fernando, por su apoyo incondicional.

Al Ing. Arturo Múzquiz Orendain, por brindarme valiosos consejos para el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Jorge A. Cabezut Boo, por ser un modelo a seguir como profesionista y como persona.

Por todas estas razones, gracias.

Hugo

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería, por haberme dado la oportunidad de cursar la carrera de Ingeniero Civil; a todos mis maestros que fueron parte fundamental en mi formación, así como a mis padres Alfredo López Tagle y Blanca Ch. de López Tagle los cuales siempre me apoyaron y motivaron a terminar esta carrera.

También quiero agradecer a mis abuelos Alfredo López Sánchez y Josefina Tagle Dávila de quienes estoy sumamente agradecido por haberme brindado toda su ayuda y comprensión.

A mis hermanos Cintia y Javier López Tagle Ch., a mis abuelos Jaime y Ana Chenovetzky, y a mi tío Jorge Chernovetzky, por impulsarme a ser cada día mejor.

En especial quisiera dedicar esta tesis a todos mis amigos que siempre han estado conmigo y quienes son las mejores personas que he conocido, entre ellos están:

Mariana Suárez, Héctor Díaz, Gabriel Sverdrup, Julio Traslósheros, Víctor Hugo Rodríguez, Hugo Reséndiz y Marcelino Gutiérrez.

*Agradeciendo su interés :
Samuel López Tagle Chernovetzky.*

Queremos expresar un reconocimiento especial al M.S. Joaquín Rebuella Gutiérrez, quien nos apoyó y motivó en todo momento para realizar el presente trabajo.

INDICE

Prólogo	1
Introducción	2
1.-) Descripción de Componentes	7
1.1 Placa de apoyo	7
1.2 Módulo Base	8
1.3 Módulo de 7 pies	9
1.4 Módulo de 14 pies	9
1.5 Módulo de 21 pies	10
1.6 Sección de caja	11
1.7 Placas de anclaje	12
2.-) Descripción de Configuraciones posibles	13
2.1 Estructura tipo chainette	13
2.2 Estructura tipo Delta	14
2.3 Estructura de Amarre	14
2.4 Estructura tipo vertical en suspensión	14
3.-) Trabajos Previos al Levantamiento	18
3.1 Topografía	18
3.1.1 Método de la estadia	18
3.1.2 Estadia simple	19
3.1.3 Estadia compuesta	21
3.1.4 Levantamientos con tránsito y estadia	22
3.2 Distribución	23
3.3 Anclajes	23
3.3.1 Características de los anclajes	26
3.3.2 Capacidad resistente	28
3.4 Implantación del módulo base y de los anclajes	30
3.5 Procedimientos	30

4.-) Levantamiento de las estructuras de Emergencia	32
4.1 Método de la pluma flotante	32
4.1.1 <i>Pluma multifunción</i>	32
4.1.2 <i>Posición de anclajes del mástil y de la pluma</i>	34
4.1.3 <i>Levantamiento de la pluma flotante</i>	35
4.1.4 <i>Levantamiento de la parte inferior del mástil por rotación</i>	36
4.1.5 <i>Pluma en posición en el mástil</i>	38
4.1.6 <i>Revisión de esfuerzos</i>	39
4.2 Levantamiento utilizando una estructura adyacente	47
4.2.1 <i>Levantamiento por rotación con el mástil adyacente</i>	47
4.2.2 <i>Rotación con el mástil adyacente</i>	48
4.2.3 <i>Revisión de esfuerzos</i>	49
4.3 Levantamiento por rotación con pluma auxiliar instalada en el eje del módulo base	53
4.3.1 <i>Ensamblaje de la estructura</i>	53
4.3.2 <i>Ensamblaje de la pluma auxiliar</i>	53
4.3.3 <i>Descripción de la pluma auxiliar</i>	54
4.3.4 <i>Instalación de la pluma para una rotación apartir del eje de la estructura</i>	54
4.3.5 <i>Rotación de la estructura</i>	55
4.3.6 <i>Análisis de esfuerzos producidos en la estructura</i>	55
5.-) Descripción y Manejo del Paquete de Computadora	59
5.1.1 <i>Ecuaciones empleadas en la revisión de esfuerzos</i>	59
5.1.2 <i>Método alternativo de levantamiento</i>	61
5.1.3 <i>Descripción física del paquete</i>	63
5.1.4 <i>Programa de computadora</i>	64
5.1.5 <i>Diagrama de flujo</i>	65
5.1.6 <i>Ejemplo de aplicación del programa de computadora</i>	66
6.-) Análisis Beneficio vs Costo de la adquisición de las estructuras	71
6.1.1 <i>Antecedentes</i>	71
6.1.2 <i>Propósitos del análisis</i>	71
6.1.3 <i>Análisis</i>	71
Comentarios , Mejoras y Conclusiones	76
Anexos	78
Bibliografía	79

PROLOGO

En los últimos años, el país ha experimentado un crecimiento acelerado el cual ha originado un incremento considerable en las necesidades de la población, tales como :

Agua potable, alcantarillado, urbanización, educación, energía eléctrica, entre otros.

De lo descrito, destaca el punto referente a la energía eléctrica ya que es un elemento vital para el desarrollo de todas las actividades de producción y crecimiento. En circunstancias como las que se han planteado, es claro que el país requiere de respuestas rápidas, eficientes y bien estructuradas para poder dar solución a los grandes problemas a los que es necesario enfrentarse diariamente, es por eso que la Comisión Federal de Electricidad en un esfuerzo por aplicar soluciones innovadoras, de calidad y que además tengan compatibilidad con las características del territorio nacional, ha desarrollado el programa dedicado a brindar atención a emergencias.

Basados en estos aspectos surge como una posible solución, el uso de las llamadas estructuras de restablecimiento de transmisión, las cuales son construidas por módulos en talleres y armadas directamente en el lugar donde sean requeridas, gracias a esta característica su transporte, montaje y manejo son rápidos y sencillos, condiciones imprescindibles debido a que generalmente las zonas donde son utilizadas, tienen características de acceso simultáneamente difíciles y por lo tanto la problemática de montaje aumenta considerablemente. Además es importante considerar que gracias a las características de facilidad y velocidad en su manejo, el montaje es posible realizarlo en un periodo de aproximadamente un día por lo que las actividades de la población del país no se verían interrumpidas por periodos demasiado prolongados, se evitan los graves problemas que origina dicha suspensión y se permite un mejor control en la construcción de las estructuras permanentes.

Por lo tanto, se refleja la gran utilidad que este tipo de estructuras puede brindar al país, es por esto que el presente trabajo pretende mostrar cuales son las características generales de este tipo de tecnología y brindar nuevas ideas para otro tipo de utilización de las mismas. Además se pretende plasmar algunas experiencias tanto teóricas como prácticas, obtenidas en permanencia en campo y mediante la recopilación de datos e investigación en diversas fuentes.

Este modesto trabajo pretende contribuir con la divulgación de uno de los muchos aspectos del vasto universo que conforma la Ingeniería.

INTRODUCCION

México cuenta con una Potencia Eléctrica de aproximadamente 30 GW instalados, 10,000 kms de líneas de transmisión de 400 Kv., y 19,000 kms de líneas de transmisión de 230 Kv., esta infraestructura Eléctrica cubre los 1,972,547 kms cuadrados de la superficie del territorio Nacional.

Se puede observar que el país está ubicado dentro de dos de las seis regiones de distribución mundial de los ciclones tropicales, también conocidos como huracanes o tifones. La velocidad de los vientos de los ciclones oscila entre los 120 y 200 km/hr, siendo algunas veces superior, su ocurrencia se restringe al periodo comprendido de Mayo a Noviembre con una máxima frecuencia en los inicios del Verano y Otoño.

Con intervalos de 3 a 8 años de tiempo sucede un importante fenómeno que afecta el océano y la atmósfera, y que se inicia al este del océano pacífico y extiende sus efectos sobre el globo, durante más de un año, produciendo características de intemperividad y anormalidad en el clima. A todo este fenómeno se le conoce como "EL NIÑO", este suceso es irregular en cuanto al intervalo de tiempo y en cuanto a su intensidad.

Por consideraciones económicas las estructuras para líneas de conducción de energía eléctrica, son diseñadas para soportar cierta magnitud de velocidad de viento, que varía entre 80 a 120 km/hr. Al presentarse un ciclón su capacidad de diseño puede ser sobrepasada, provocando su falla.

No es sencillo clasificar las fallas de las estructuras que se presentan cuando un ciclón afecta un sistema de transmisión, sin embargo el efecto dinámico del viento a gran velocidad en forma circular y en ráfagas, genera deformaciones oscilatorias en la estructura de conducción de energía eléctrica y esfuerzos combinados de flexión - compresión, que se transmiten a las cimentaciones y provocan las fallas de las primeras estructuras, las cuales debido a su interacción producen en otras fallas, por el efecto llamado "CASCADA".

Las fallas de las estructuras las podemos dividir en dos grupos :

1.- Fallas de elementos con colapso total de la estructura

a) Falla estructural en la base de la estructura por flexión o flexo-compresión de elementos.

b) Falla en la cimentación por Tensión.

2.- Fallas de elementos sin colapso total de la estructura.

a) Falla estructural en el cuerpo piramidal de la estructura por flexión.

b) Falla estructural en la parte que sujeta a los conductores y herrajes.

c) Falla por compresión de la cimentación.

En función del tipo de falla que se haya presentado, se podrá determinar la forma y el tiempo de reparación.

Una vez que el ciclón entra a tierra y causa daños a los sistemas de transmisión de energía eléctrica, se deben tomar acciones de emergencia, por lo tanto, inmediatamente que sea posible se deben efectuar recorridos de inspección y evaluación de daños y elaborar una planeación a corto plazo, que contemple las actividades para la reparación. Esta podrá efectuarse de forma provisional ó definitiva.

Muchas empresas eléctricas prefieren reparar la línea de una forma permanente, esta reparación casi siempre consiste en sustituir la estructura dañada, por otra similar incluyendo el tipo de cimentación. Lo anterior implica alto consumo de tiempo con indisponibilidad de la línea, además si no se consideran las causas de esta falla es posible que esta vuelva a presentarse por lo que es necesario tomar medidas preventivas como relocalización del trazo, construcción de cimentación especial, entre otros..

Además es importante contar con una adecuada distribución de las estructuras de emergencia en el territorio nacional ya que no es económicamente viable tener un gran número y de los diferentes tipos empleados.

Los métodos utilizados en México para la reparación provisional son :

a) Utilización de la estructura colapsada.

b) Utilización de posteria de madera y/o concreto.

c) Utilización de estructuras modulares ligeras de emergencia.

Los métodos anteriores son utilizados para reducir los efectos de un prolongado tiempo de reparación.

A partir de 1992 la C.F.E., adquirió algunas estructuras modulares de aluminio siendo empleadas por primera vez en el restablecimiento de una L.T. de 115 Kv. que sufrió daños por el ciclón "WINIFRED" en octubre del mismo año. Nuevamente fueron usadas estas estructuras en 1993 para reparar daños en líneas de transmisión de 230 Kv. producidos por los ciclones "CALVIN" y "LIDIA", y para reparar los daños causados por el huracán "GERT" en el circuito uno de la L.T de 400 Kv. Poza Rica - Altamira, y en la L.T de 115 Kv. Tihuatlan - Chairel, en septiembre del mismo año.

Para poder darnos una idea mas clara de la gran importancia que implica el suministro de energía, a continuación se presentara una serie de datos en forma tabular, que muestran de una manera muy clara la cantidad de kilómetros de línea de transmisión que se ven afectados por fenómenos meteorológicos, las estructuras dañadas, fechas en que se produjo la falla y la correspondiente de restablecimiento del servicio. De esta forma se comprenderá el campo de aplicación que es necesario abarcar por este tipo de tecnología en caso de requerirse su utilización.

ESTADISTICAS DE CICLONES

NOMBRE DE CICLON	FECHA DE ENTRADA	L.T. AFECTADA	ESTRUCTURAS DAÑADAS		FECHA DE RESTABLECIMIENTO
			No.	Kms.	
OLIVIA	10-Oct-75	230 KV Mazatlan II-Culiacan II	60	35	30-Jan-76
LISA	1-Oct-76	115 kv Mochua - Topolobampo	13	16	15-Dec-76
LIDIA	6-Oct-81	230 KV Mochua I - Mochua II (circ. I)	8	6	10-Nov-81
		230 KV Mochua I - Mochua II (circ. II)	6	4	Mar-82
NORMA	12-Oct-81	230 KV Mazatlan II-Culiacan III (circ I)	40	35	10-Nov-81
		230 KV Mazatlan II-Culiacan III (circ II)	48	35	16-Nov-81
PAUL	29-Sep-82	230 KV Mochua I - Mochua II	65	35	12-Nov-82
		115 KV Mochua I - Topolobampo	22	15	26-Nov-82
		115 KV Mochua I - Guasave	22	8	4-Oct-82
		115 KV El Fuerte - Mochua II	14	6	13-Oct-82
		230 KV Mochua II - Culiacan III	3	3	22-Oct-82
TIKO	19-Oct-83	230 KV Mazatlan II-Culiacan III (circ I)	67	50	23-Dec-83
		230 KV Mazatlan II-Culiacan III (circ II)	57	50	12-Jul-84
		230 KV Mazatlan II-Durango II	6	5	1-Nov-83
WALDO	9-Oct-85	115 KV Humaya - Culiacan III	7	10	30-Oct-85
		115 KV Culiacan II - Culiacan III	26	15	1-Apr-86
		115 KV Culiacan I - Culiacan III	2	1	11-Oct-85
PAINE	5-Oct-86	115 KV Guasave - Guamuchil	2	1	9-Oct-86
GILBERTO	14-Sep-88	115 kv Nizuc - Playa del Carmen	44	16	Jan-89
ANA	7-Aug-90	400 KV Poza Rica II - Altamira	2		14-Aug-90
		400 KV Tuxpan - Poza Rica II	1		14-Aug-90
		400 KV Poza Rica II - Altamira	5		17-Aug-90

TORMENTA * TROPICAL	16-Jan-92	400 KV Manzanillo - Atequiza	2	1.6	Apr-92
		400 KV Manzanillo - Mazamitla	3	2	Apr-92
TORNADO *	28-Jun-92	400 KV Frontera - Villa de Garcia (circ I)	7	3.8	Oct-92
		400 KV Frontera - Villa de Garcia (circ II)	7	3.8	Oct-92
LESTER	9-Aug-92	230 KV Puerto Libertad - 6 de Abril	8	4.4	Dec-92
		115 KV Guaymas I - Punto P	2	1.2	Nov-92
		115 KV Hermosillo III - Ures	4	2.5	Nov-92
WINIFRED	9-Oct-92	400 KV Manzanillo - Acatlan	5	3	Nov-92
		400 KV Manzanillo - Atequiza	9	5	Nov-92
		230 KV Tapixtles - Colima II	2	1.3	Nov-92
		115 KV Salahu - Miramar	3	1.6	Nov-92
CALVIN	7-Jul-93	230 KV Tapixtles - Colima II	2	1.3	13-Jul-93
LIDIA	13-Sep-93	230 KV Tepe II - Mazatlan II	5	2.8	29-Sep-93
		230 KV Culiacan III - Guamichil II	1	0.8	15-Sep-93
		115 KV Culiacan III - Humaya	3	1.6	16-Sep-93
		115 KV Culiacan III - Sanalona	1	0.8	14-Sep-93
		115 KV Culiacan IV - Quila	1	0.8	14-Sep-93
GERT	20-Sep-93	400 KV Altamira - Poza Rica II (circ I)	4	2.6	28-Sep-93
		400 KV Altamira - Poza Rica II (circ II)	4	2.6	6-Oct-93
		115 KV Tihuatlan II - Chareil	8	3.6	10-Oct-93

(*) FENOMENOS METEOROLOGICOS ORIGINADOS POR " EL NINO "

Habiendo observado estos datos estadísticos, se comprende el porque de los lineamientos que influyeron en el diseño de las estructuras.

Estos son :

. Rapidez en su montaje

. Facilidad en su traslado y manejo

. Seguras en su funcionamiento

Atendiendo a estas características, el resultado fue una estructura de tipo modular, la cual se une por medio de pernos y no requiere de ningún tipo de cimentación especial ya que únicamente se asienta sobre el terreno natural debido a que su base es una placa cuadrangular, suficiente en dimensiones para distribuir adecuadamente la carga sobre el terreno y de esta forma evitar penetraciones de la estructura en el suelo.

Se utilizo como material de fabricación el Aluminio, debido a sus características de resistencia y ligereza, lo cual es importante para montar rápida y fácilmente los módulos componentes del arreglo.

Un tema del que trata este trabajo y el cual da nombre al mismo, es el referente a los métodos de levantamiento, los cuales se describen con la finalidad de dar a conocer las técnicas que se utilizan actualmente en el montaje, y además permitirán que sea posible el desarrollo de nuevos métodos ó que los ya existentes puedan ser aplicados a otras áreas (montaje de grúas, estructuras de andamiaje, torres de comunicación, etc.). Además, para poder realizar el proceso de levantamiento, tienen que tomarse en cuenta aspectos de tipo estructural ya que los esfuerzos a los que se somete la estructura en el proceso, no deben sobrepasar los permitidos por la resistencia propia de los materiales y de la estructura en su conjunto. Es por esto que también se hace mención de los esfuerzos a los que es sometida la estructura durante el proceso de levantamiento y del paquete de computadora que se puede aplicar en el montaje, con el objeto de proporcionar resultados rápidamente, referentes a los esfuerzos y nos indique si el método que se utilice es el mas adecuado en cuanto a condiciones de acceso, disponibilidad de equipos y materiales además de respetar aspectos de resistencia estructural.

Otro de los temas a considerar en este trabajo, es el referente al análisis de Beneficio vs Costo, el cual esperamos brinde un panorama mas claro de cuales han sido las inversiones que el gobierno del país ha ejecutado.

Finalmente, se mencionaran cuales son las conclusiones que se obtuvieron y mejoras que nosotros consideramos se puedan hacer a este proyecto.

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES

En este capítulo presentaremos las características de cada uno de los componentes estructurales, esto se hace con la finalidad de tener una idea de la magnitud de las piezas tanto en dimensiones, pesos y características generales. Todos los componentes estructurales que se manejan son fabricados a partir de una aleación de aluminio 6061-T6, excepto las articulaciones del módulo de base ya que esta pieza sufre de gran desgaste debido a la rotación producida en el proceso de levantamiento, es por esta razón que la articulación esta hecha a base de acero galvanizado.

Otro punto muy importante a considerar, es el que corresponde a la unión de los módulos que componen la estructura, ya que esta corre a cargo de 8 pernos de 5/8 de pulgada grado 5 según el ASTM A325.

Una vez planteados los lineamientos anteriores, procederemos a describir cada uno de los componentes estructurales.

1.1 PLACA DE APOYO

Esta permite al mástil apoyarse sobre el terreno natural repartiendo la carga en una área de 2.35 m^2 y mediante pruebas de laboratorio se ha determinado que esta pieza posee una resistencia a la compresión de 578 KN equivalente a 58,967 kg, y tiene un peso de 201 kg, sus dimensiones se muestran en la figura No. 1.1.1

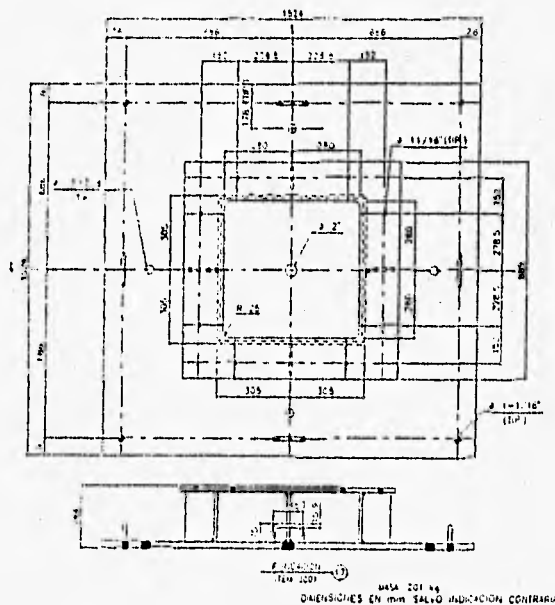


Figura 1.1.1

1.2 MODULO BASE

Posee una altura de 2.16 m, y tiene una capacidad a la compresión determinada en laboratorio de 578 KN equivalente a 58,967 kg. El peso de la parte pivotante es de 113 kg y su longitud es de 1.74 metros.

Este módulo, tiene la característica especial de estar articulado en 2 direcciones permitiendo con esto movimientos de 0 a 90 grados, con lo que se permite que el montaje de la estructura se desarrolle de una manera mas simple.

El peso total de este módulo es de 267 kg, sus dimensiones y características principales se presentan en la figura 1.1.2.

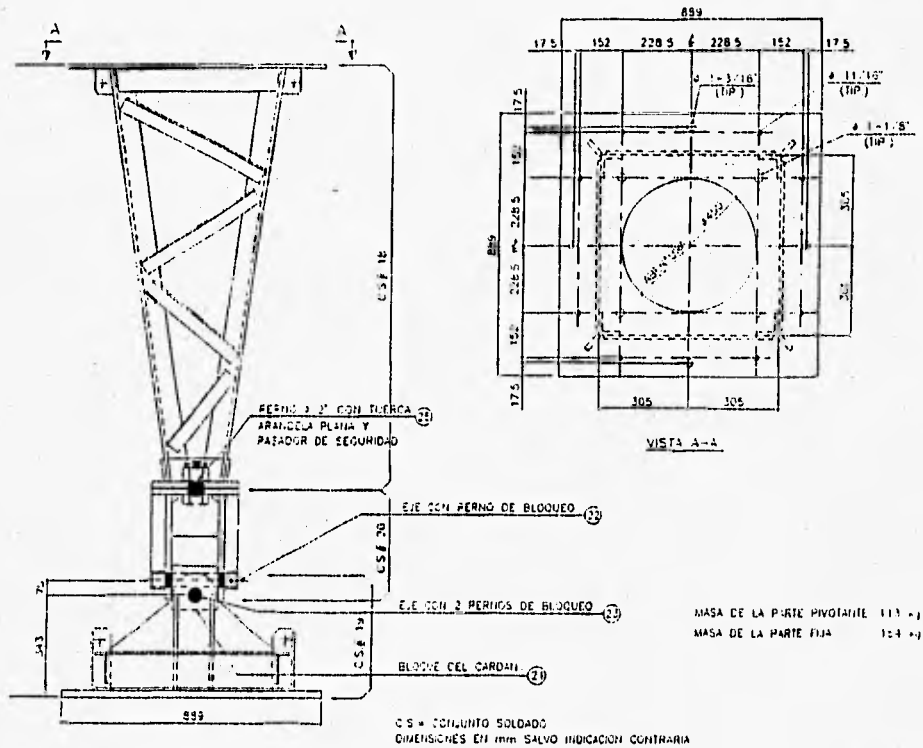


Figura 1.1.2

1.3 MODULO DE 7 ft.

Todas las diagonales y miembros principales están unidos por medio de pernos, los cuales se encuentran remachados por medio de un equipo especial, el cual tiene la característica de romper el perno al aplicarle una fuerza que esta ya determinada por especificación.

Los pernos que se utilizan son : uno de 5/8 de pulgada equivalente a 16 mm por cada diagonal y Seis de 20 mm para los miembros principales. Por especificación cada perno debe ser remachado con una fuerza de 113 KN equivalente a 11,567 kg, y de 177 KN equivalente a 18,053 kg respectivamente. El proceso mediante el cual son colocados los pernos, se conoce como "ELECTROPLATING".

La altura de este módulo es de 2.13 m y tiene un peso de 170 kg. Las características de esta pieza se muestran en la figura 1.1.3.

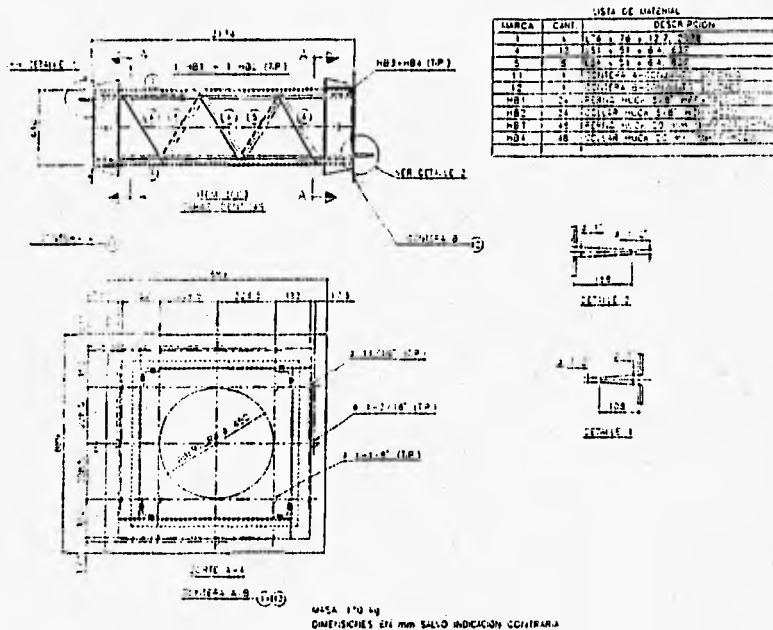


Figura 1.1.3

1.4 MODULO DE 14 ft.

Al igual que el módulo de 7 pies, este posee las mismas características de materiales y pernos. Las diferencias son las siguientes :

Altura = 4.27 m

Peso = 250 KG.

sus características se muestran en la figura 1.1.4.

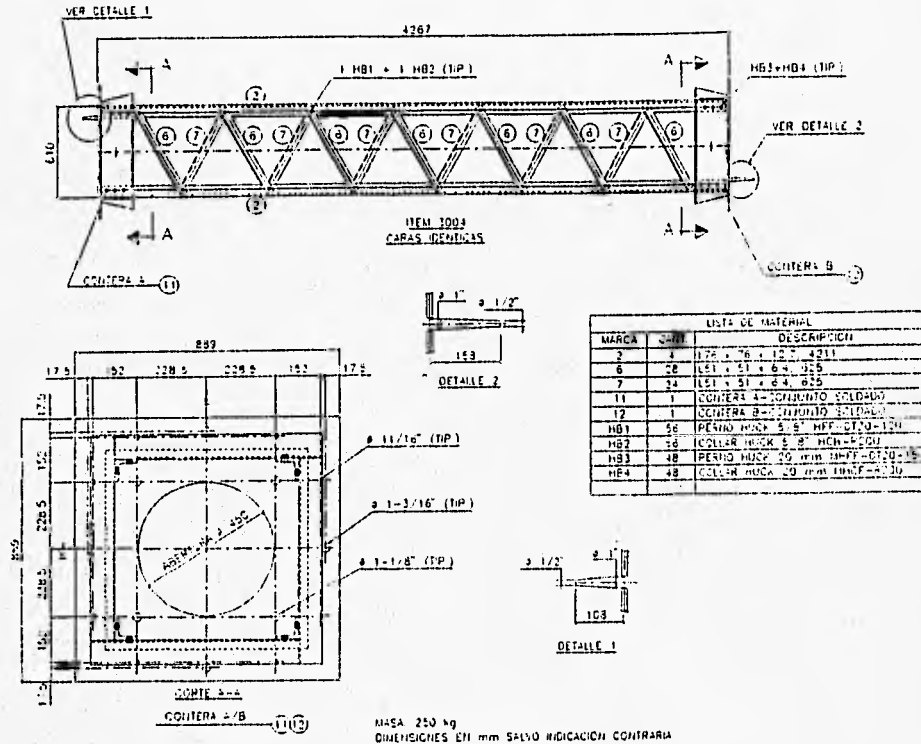


Figura 1.1.4

1.5 MODULO DE 21 ft.

Al igual que los dos módulos anteriores, sus características son las mismas exceptuando las de longitud y peso, las cuales son las siguientes :

Altura = 6.40 m

Peso = 322 KG.

Sus características se observan en la figura 1.1.5.

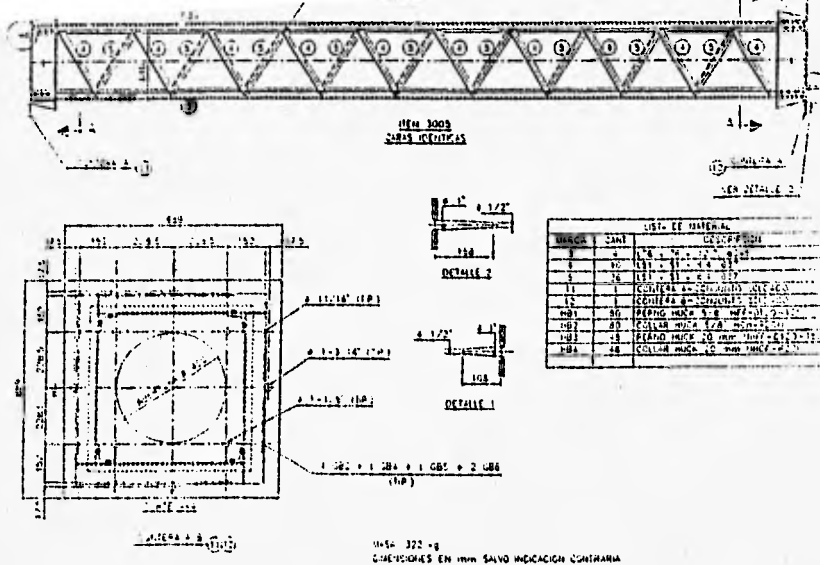


Figura 1.1.5

1.6 SECCION DE CAJA

Esta pieza tiene el objetivo de permitir la colocación de los aisladores eléctricos. Su peso es igual a 115 kg, y posee una resistencia al esfuerzo cortante determinada en laboratorio de 267 KN equivalentes a 27,216 kg, ver figura No. 1.1.6.

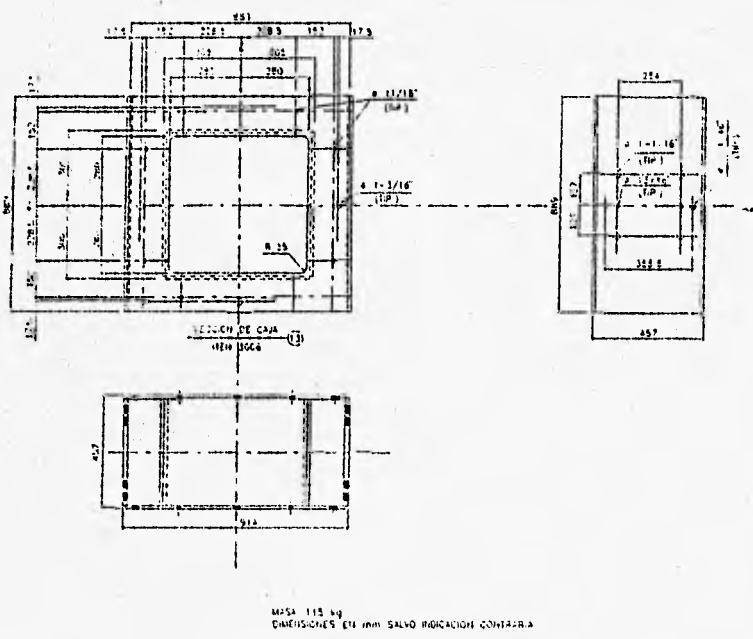


Figura 1.1.6

1.7 PLACAS DE ANCLAJE

Estas piezas, permiten la conexión de tirantes, cables y conductores. Estas pueden ser totalmente planas ó pueden tener pequeños dobleces de 45 grados en los extremos. Además cada elemento tiene la capacidad de soportar a seis (6) miembros conectados.

Las características de resistencia determinadas en laboratorio, son de 133 KN equivalente a 13,608 kg, esta resistencia es independiente para cada punto de anclaje.

El peso de esta placa es de 30 kg.

Sus dimensiones se presentan en la figura 1.1.7

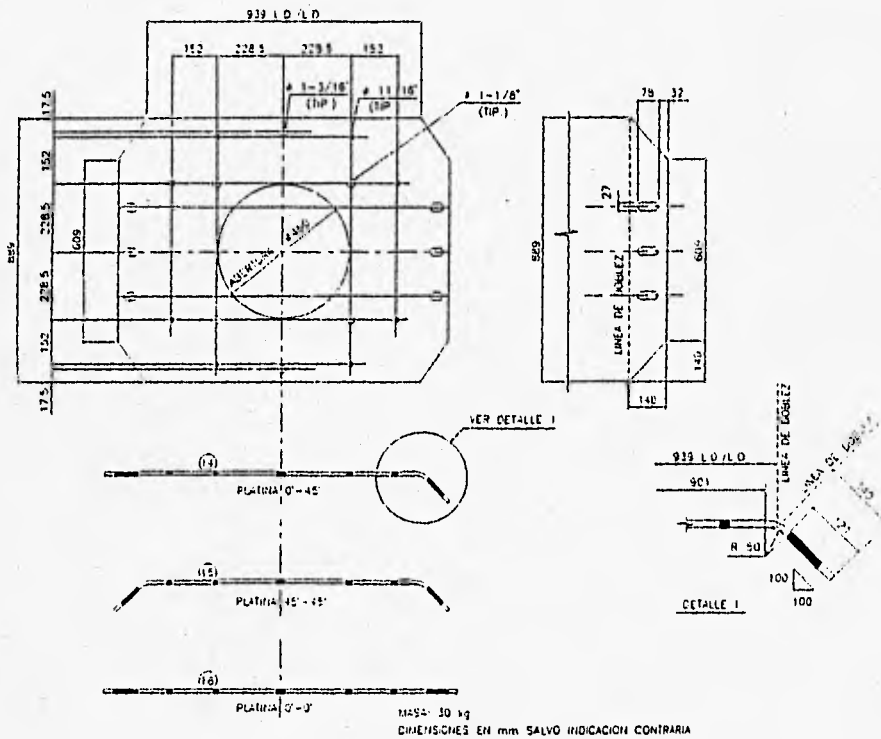


Figura 1.1.7

CAPITULO 2

CONFIGURACIONES POSIBLES

Antes de empezar a describir cuales son los tipos de configuraciones que pueden construirse con este tipo de estructuras, queremos aclarar que estas solo están enfocadas al ámbito eléctrico y es por esta razón que no profundizaremos demasiado en su explicación, ya que para los fines que nos ocupan esto no tiene una gran relevancia. Una vez dicho esto, procederemos a la descripción de este tipo de configuraciones.

Las configuraciones que mencionaremos son las siguientes :

- 1) Estructura tipo Chainette.**
- 2) Estructura tipo Delta.**
- 3) Estructura de Amarre**
- 4) Estructura tipo Vertical en suspensión.**

2.1 ESTRUCTURA TIPO CHAINETTE

Esta se compone de dos mástiles y tiene la particularidad de soportar grandes cargas, es por esta razón que generalmente se utiliza para restablecer líneas de transmisión de 400 kv, las cuales son las mas grandes que existen en nuestro país. En este tipo de estructura es muy importante el controlar los esfuerzos en los mástiles y esto solo se conseguirá mediante la utilización de la geometría adecuada. Además, en algunos casos es necesario utilizar tirantes intermedios en función de las cargas a soportar, ó por la gran altura de los mástiles ya que de esta forma es posible disminuir los esfuerzos de compresión que se presenten en los mismos.

Para su mejor comprensión, observamos la figura 2.1.1, que nos indica las características geométricas del arreglo y los distintos elementos estructurales que componen una estructura típica.

Es importante el señalar que existen ya características geométricas preestablecidas para este tipo de arreglo, en función de las condiciones de carga a soportar y de contar con el espacio suficiente para la colocación de los anclajes de los diferentes tirantes. Es claro que estas características del arreglo no siempre se podrán aplicar, ya que la variación en aspectos de topografía, condiciones de carga, condiciones de espacio, siempre será una posibilidad latente. Cuando esta situación llegue a presentarse, no habrá mas que desarrollar un nuevo cálculo en función de las nuevas condiciones existentes y de esta forma determinar las nuevas características del arreglo.

Actualmente la Comisión Federal de Electricidad, cuenta con un programa de computadora que desarrolla todos los cálculos necesarios y las revisiones de esfuerzos pertinentes para plantear el diseño mas adecuado dependiendo de las situaciones que se propongan.

2.2 ESTRUCTURA TIPO DELTA

Este tipo de configuración se utiliza generalmente para líneas de transmisión de 115 y 230 kv, esto es ocasionado porque la resistencia de este arreglo es un poco menor en comparación con la estructura tipo Chainette. Entre las características mas importantes que podemos mencionar, están las siguientes.

- a) Esta configuración es la mas económica de todas.*
- b) Presenta las características mas fáciles para su ensamblaje.*

En este tipo de arreglo, debe tenerse especial cuidado en respetar la resistencia mecánica de los aisladores tipo poste, ya que estos serán los limitantes en el ángulo de línea que pueda manejarse.

Al igual que en la configuración anterior, obsérvese la figura 2.1.2.

2.3 ESTRUCTURA DE AMARRE

Una estructura de amarre se utiliza para condiciones, tales como :

- a) Que sea necesario una estructura de fin de línea en el tramo en reposición.*
- b) Que el ángulo de línea sobrepase la resistencia mecánica de la grapa de suspensión sin dañar al conductor. (Este ángulo es generalmente del orden de 50-60 grados).*

Para darnos una idea de esta configuración, se presenta la figura 2.1.3.

2.4 ESTRUCTURA TIPO VERTICAL EN SUSPENSION

Con este tipo de configuración es posible recibir importantes ángulos de línea en suspensión, es decir que a diferencia de la configuración tipo DELTA, esta resulta mucho mas resistente para este tipo de condiciones de carga.

También es importante considerar que cuando los ángulos de línea son muy pequeños ó cuando se utiliza un alineamiento, este tipo de estructura puede disminuir grandemente su resistencia en caso de presentarse vientos contrarios a la dirección de los tirantes. Sus características se presentan en la figura 2.1.4.

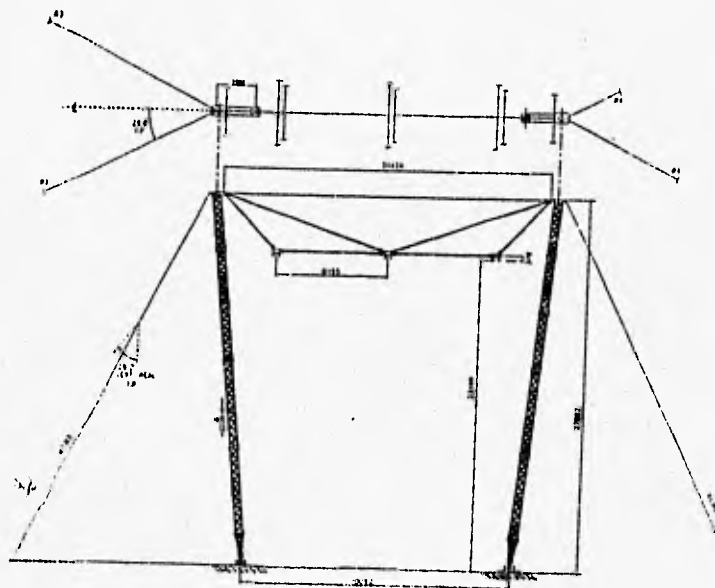


Figura 2.1.1

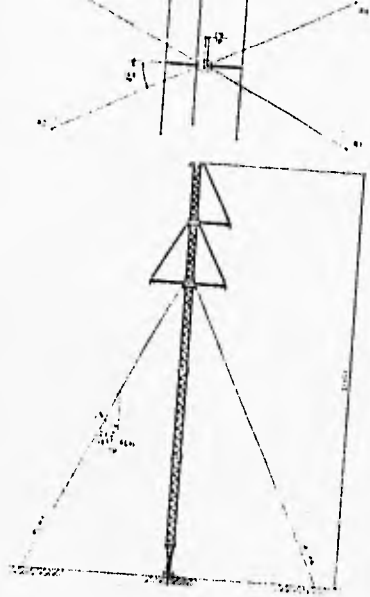


Figura 2.1.2

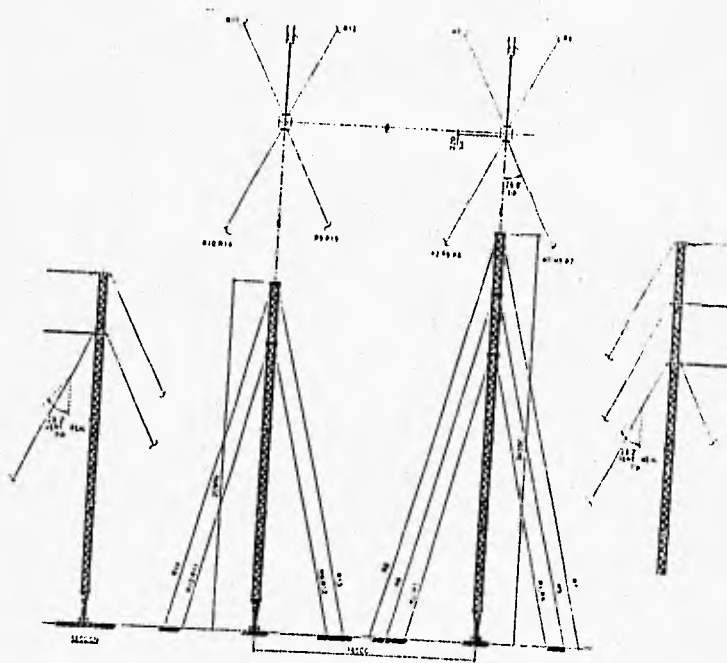


Figura 2.1.3

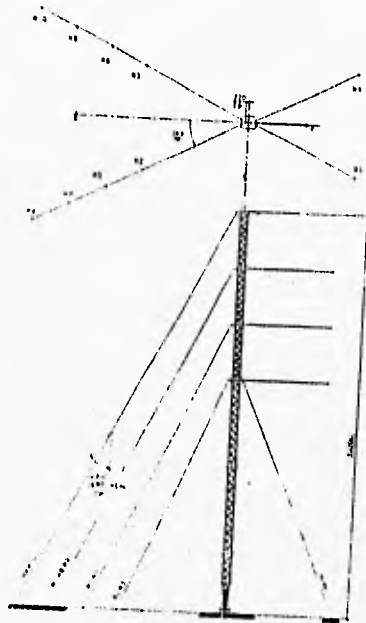


Figura 2.1.4

CAPITULO 3

TRABAJOS PREVIOS AL LEVANTAMIENTO

Antes de empezar el levantamiento de las torres de emergencia, se tiene que preparar el terreno, las herramientas y el equipo requerido para ejecutar los diferentes trabajos de construcción los cuales están relacionados con el tipo de montaje utilizado y a la amplitud de los daños.

3.1 TOPOGRAFIA.

Quedando sujetas a ciertas especificaciones, el nuevo trazo se hace prácticamente en línea recta del origen al destino siguiendo la trayectoria de la línea dañada para facilitar su vigilancia y conservación. Una vez determinado el nuevo eje de la línea, luego de la inspección del sitio y trazada la nueva ruta en un mapa, el equipo de topografía tiene la responsabilidad de trazar en el terreno el alineamiento final de la línea y de preparar los planos de planta y perfil. Este equipo deberá también marcar en el sitio la ubicación de las estructuras y cuando el tipo de estructura haya sido determinado, señalar con estacas la ubicación de las fundaciones y las retenidas permanentes, para localizar los puntos donde se ubicarán las estructuras, por medio de algún método de medición de distancias y ángulos que sea sencillo, como el método de la estadia.

3.1.1 Método de la Estadia.

La estadia se funda en el teorema geométrico que establece que en "triángulos semejantes los lados homólogos son proporcionales".

En efecto, si se pretende medir la distancia AB (Fig. No. 3.1.1) y se trazan las rectas cd y CD, perpendiculares a la misma, en los triángulos semejantes Acd y ACD, se tiene:

$$\frac{AB}{Ab} = \frac{CD}{cd}$$

$$AB = \frac{Ab}{cd} CD$$

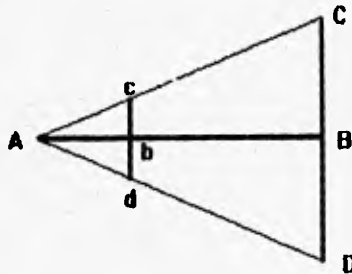


Fig. 3.1.1

quedando determinada AB si se conocen AB , cd y CD . Pero AB es la distancia que se desea medir, CD es la parte del estadal comprendida entre los hilos c y d de la retícula y la relación Ab/cd es una constante de cada aparato dependiendo de las características del anteojo.

3.1.2 Estadia Simple

Si el terreno es plano, el procedimiento empleado para la medida de las distancias se conoce con el nombre de estadia simple. En este caso, en el cual las visuales dirigidas a la mira se consideran horizontales, se ilustra en la Fig. No. 3.1.2

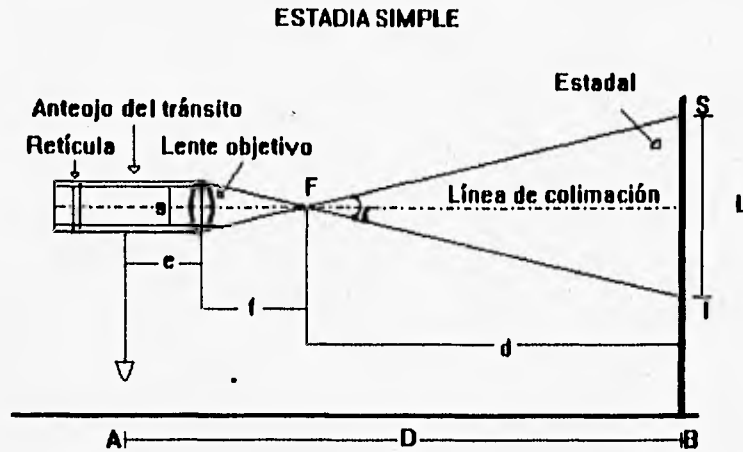


Fig. 3.1.2

A = estación

B = punto visado

D = distancia de la estación A al punto visado B

e = distancia entre el centro del instrumento (en el eje azimutal) y el centro de la lente objetivo

f = distancia focal de la lente objetivo

d = distancia entre el foco de la lente objetivo y el estadal

s = separación de los hilos estadimétricos

F = Foco principal de la lente objetivo

δ = ángulo diastimométrico

L = distancia interceptada sobre el estadal por los hilos estadimétricos.

Deducción de la Fórmula General de la Estadia para visuales horizontales.

En la Fig. No. 3, se tiene:

$$D = d + e + f \dots\dots\dots (1)$$

Los rayos de luz procedentes de los puntos S e I , forman un par de triángulos semejantes, uno de base s y el otro de base L , y como resultado de la comparación de estos triángulos, se obtiene la proporción:

$$\frac{d}{L} = \frac{f}{s} \quad \therefore \quad d = \frac{f}{s} L \dots\dots (2)$$

y substituyendo (2) en (1), resulta:

$$D = \frac{f}{s} L + e + f \dots\dots (3)$$

El cociente $\frac{f}{s}$ se denomina factor de intervalo de la estadia. Para un aparato determinado

f , s y e son constantes, por lo tanto, la fórmula (3) se simplifica, haciendo:

$$C = \frac{f}{s} = \text{constante grande ó de multiplicación}$$

$$c = e + f = \text{constante chica ó de multiplicación}$$

y así se obtiene la fórmula general de la estadia para visuales horizontales:

$$D = LC + c \dots\dots (4)$$

Luego, para calcular la distancia D , medida con la estadia, habrá que multiplicar por la C la lectura del estadal L , y agregar al producto el valor de la constante chica c .

En los anteojos de enfoque interno, es decir, en aquellos de punto analítico central, $c = 0$, en este caso la fórmula (4) se reduce y queda como sigue:

$$D = LC \dots\dots\dots (5)$$

En cada instrumento viene ya determinada la constante grande ya que es, por lo general, igual a 100.

El valor de la constante chica varía de 25 cm a 35 cm en los anteojos de enfoque externo: c es de 25 cm, en anteojos de 6 a 9 pulgadas, de 30 cm en anteojos de 9 a 12 pulgadas y de 35 cm en anteojos de 14 pulgadas.

3.1.3 Estadia compuesta.

En la medida de distancias con estadia en terreno quebrado, se encuentran pendientes más o menos fuertes y las visuales son inclinadas y como las lecturas de miras se hacen sobre el estadal colocado verticalmente y no perpendicular a la visual, esta lectura será siempre mayor que la verdadera. En consecuencia, es necesario establecer las fórmulas para calcular las componentes horizontal y vertical de la distancia inclinada, entre la estación y el punto visado, en función de la lectura de estadia tomada, del ángulo de inclinación de la visual y de las constantes de estadia.

La Fig. No. 3.1.3 ilustra una línea de colimación inclinada, así como las componentes horizontal y vertical de la distancia inclinada. La componente horizontal es la distancia reducida al horizonte entre la estación y el punto visado, y la componente vertical es el desnivel entre dichos puntos.

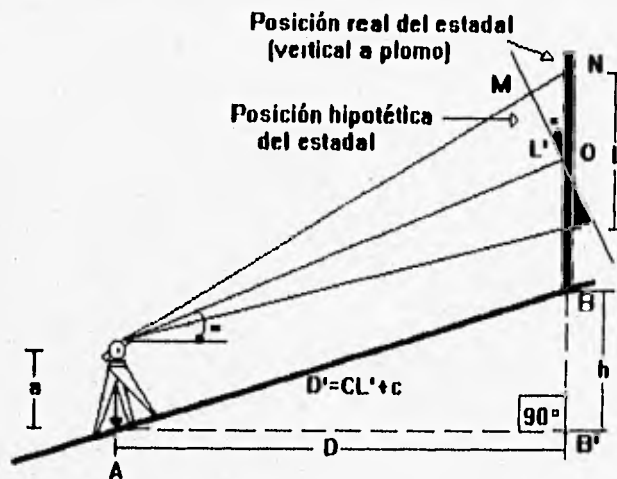


Fig. No 3.1.3

- A = estación
- B = punto visado
- D' = distancia inclinada, entre el instrumento y el estadal.
- D = distancia horizontal ó reducida al horizonte, del centro del instrumento al estadal.
- h = desnivel entre los puntos A y B .

α = ángulo vertical ó de inclinación del terreno.

a = altura del aparato en la estación.

L' = lectura que se tomaría en el estadal si éste pudiera sostenerse normal a la visual, en el punto B.

L = lectura que se toma en el estadal colocado en posición vertical, a plomo.

Si pudiera tomarse la lectura L' , la distancia inclinada sería:

$$D' = CL' + c \dots\dots\dots (1)$$

Ahora bien, el triángulo rectángulo ABB' , por trigonometría, se tiene:

$$D = D' \cos \alpha = (CL' + c) \cos \alpha = CL' \cos \alpha + c \cos \alpha \dots\dots\dots (2)$$

y, sin error apreciable, se puede considerar que el triángulo OMN es rectángulo, por lo tanto:

$$L' = L \cos \alpha \dots\dots\dots (3)$$

valor que substituido en la (2), da:

$$D = CL \cos^2 \alpha + c \cos \alpha \dots\dots\dots (4) \text{ Distancia horizontal}$$

Por otra parte, para obtener el desnivel entre la estación y el punto visado, del triángulo rectángulo ABB' , por trigonometría se obtiene:

$$h = D' \sin \alpha = (CL' + c) \sin \alpha = CL' \sin \alpha + c \sin \alpha \dots\dots\dots (4)$$

y substituyendo (3) en (4), resulta:

$$h = CL \sin \alpha \cos \alpha + c \sin \alpha \dots\dots\dots (5) \text{ Desnivel}$$

3.1.4 Levantamientos con Tránsito y Estadia.

En reconocimientos, levantamientos de predios rústicos y preliminares para vías de comunicación (líneas de transmisión), localización de detalles para la construcción de planos a pequeña escala y trabajos de configuración, los levantamientos con tránsito y estadia son suficientemente precisos y considerablemente más rápidos y económicos que los ejecutados con tránsito y cinta.

Las poligonales se levantan por los métodos de medida directa de ángulos, deflexiones o conservación de azimutes.

El control horizontal se establece generalmente por poligonales y el control vertical se obtiene por medio de bancos de nivel situados dentro o cerca del área en que se va a operar. La cota de partida se toma del banco de nivel existente o bien se asigna una cota conveniente a un banco que se establezca y que puede ser o no vértice de la poligonal. Una vez conocida la cota de uno de los vértices se pueden ir determinando las cotas de los demás.

3.2 DISTRIBUCION

Una vez que los tipos de estructuras y el número de unidades para los trabajos hayan sido determinados, el material es transportado al sitio de construcción por vehículos de ruta. El vehículo recomendado para la distribución del material, es el camión de 10 toneladas, equipado de una grúa hidráulica (capacidad de 10 a 15 toneladas) y de una plataforma de carga plana de 20 pies. Si la topografía lo permite, el material es enviado directamente a cada sitio de la estructura.

En la mayoría de los casos, en el momento de la construcción original de la línea ya existe una ruta de acceso. La condición de esta ruta se deteriora con el tiempo, por lo tanto necesita algunas reparaciones. Si la distribución por la ruta se hace imposible será necesario entonces proceder con un vehículo todo terreno o un helicóptero.

3.3 ANCLAJES

El proyecto de cualquier sistema anclado requiere no sólo todas las comprobaciones de estabilidad precisas, sino el análisis del tipo de anclaje más conveniente y una disposición adecuada que permita la buena ejecución y su correcto funcionamiento.

En esencia, los anclajes son unos elementos que trabajan a tracción, con los que se trata de mejorar las condiciones de equilibrio de una estructura. Normalmente están constituidos por armaduras metálicas que se alojan en perforaciones practicadas en el terreno, en cuyo fondo se sujetan o anclan al mismo por medio de inyecciones o dispositivos mecánicos expansivos, fijándose luego el extremo exterior a la estructura cuya estabilidad se pretende mejorar, o a placas que apoyan directamente sobre la superficie del terreno.

En un anclaje se distinguen tres partes fundamentales (según se indica en la figura No. 3.3.1):

1. Zona de anclaje
2. Zona libre
3. Cabeza y placa de apoyo

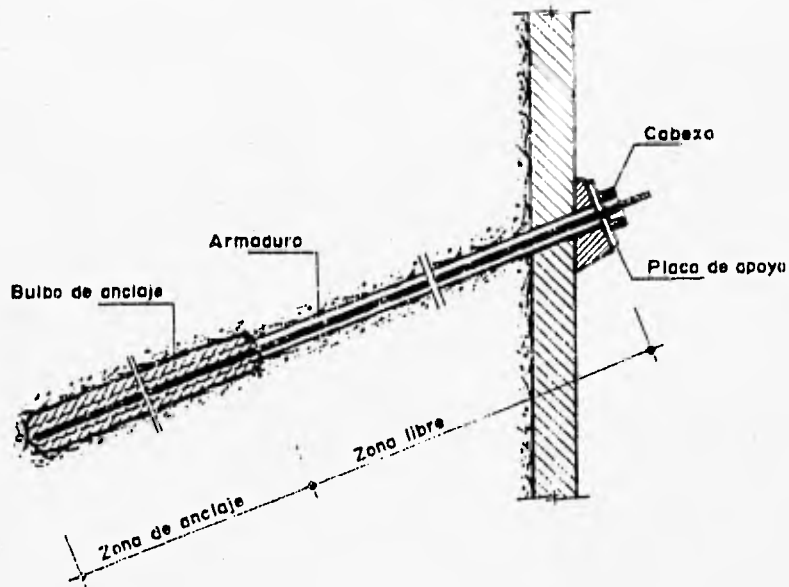


Fig. 3.3.1

Zona de anclaje es la parte solidaria al terreno en profundidad, encargada de transferir los esfuerzos al mismo. La zona libre es la parte en que la armadura se encuentra independizada del terreno que la rodea, de manera que pueden deformarse con total libertad al ponerse en tensión.

La cabeza es la zona de unión de la armadura a la placa de apoyo, sobre la que ejerce la acción exterior.

Por su forma de trabajar se pueden distinguir:

- 1. Anclajes pasivos.*
- 2. Anclajes activos.*
- 3. Anclajes mixtos.*

Anclaje pasivo es aquel que entra en tracción por si solo, al aparecer la fuerza exterior y oponerse la cabeza al movimiento del terreno o de la estructura.

Este anclaje debe de ser bastante rigido si se quiere limitar la magnitud del movimiento, llegando en casos extremos, a ejecutar verdaderos pilotes a tracción. Su orientación debe establecerse en función del movimiento relativo que pueda esperarse entre la cabeza y la zona de anclaje para evitar la aparición de esfuerzos anormales.

Anclaje activo es aquel que, una vez instalado, se pretensa la armadura hasta llegar a su carga admisible, comprimiendo el terreno comprendido entre la zona de anclaje y la estructura o placa de apoyo de la cabeza. Cuando actúa la carga exterior, se produce la descompresión del terreno pero apenas se mueve la cabeza del anclaje en tanto no se rebase el esfuerzo de pretensado, por lo que no varía sensiblemente la tensión del tirante.

En el anclaje mixto, intermedio entre los dos anteriores, la armadura se pretensa con una carga inferior a la admisible, quedando una parte de su capacidad resistente en reserva para hacer frente a posibles movimientos aleatorios del terreno.

Esta disposición de anclajes puede efectuarse para actuar durante un tiempo de servicio mas o menos prolongado, por lo que cabe distinguir entre:

- 1. Anclajes temporales.*
- 2. Anclajes permanentes.*

Los primeros tienen el carácter de medio auxiliar, y proporcionan las condiciones de estabilidad a la estructura durante el tiempo necesario para disponer otros elementos resistentes que los sustituyan. Los anclajes permanentes se dimensionan, evidentemente, con mayores coeficientes de seguridad, pero, fundamentalmente, deben estar proyectados y ejecutados para hacer frente a los peligros de corrosión.

En el caso de los anclajes provisionales serán colocados para facilitar el levantamiento de la estructura penetrando en el suelo, como se indica en las Figuras No. 3.3.2 y 3.3.3

Anclaje temporal con dos varillas

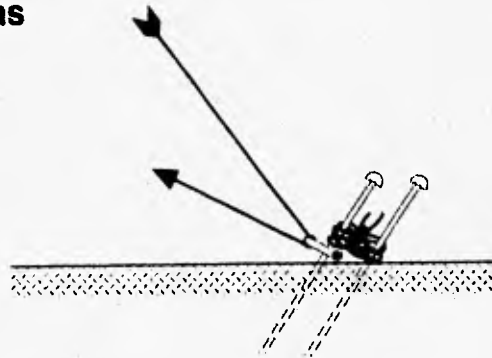


Fig. 3.3.2

Anclajes temporales profundos

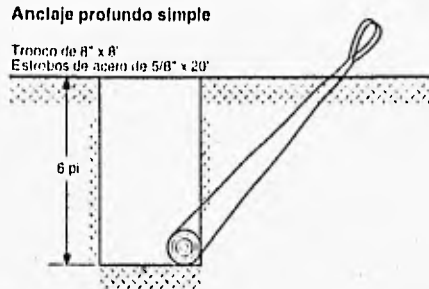


Fig. 3.3.3

3.3.1 Características de los anclajes.

Actualmente existe una gran variedad de anclajes, cuyas diferencias residen, esencialmente, en el tipo de armadura que utilizan, la forma de constituir la zona de anclaje y la disposición de la cabeza de abroche, a las que se debe de añadir el sistema de protección contra la corrosión cuando se trata de anclajes permanentes. Estas características pueden variar según que los anclajes deban ser sujetos en roca o terreno suelto.

Aunque la armadura pueda estar constituida por elementos metálicos o no metálicos muy diversos, como barras, tubos o perfiles laminados, por razones de ejecución y de economía se utilizan habitualmente los siguientes tipos:

1. Alambre de acero de alta resistencia.
2. Barras de acero especial.

Alambre de alta resistencia ó alambre pretensado, se utiliza normalmente con diámetros comprendidos entre 5 y 8 mm. Este tipo de acero tiene una resistencia a la tracción de 160 a 190 kg/mm², y un límite elástico convencional con deformación permanente del 2%, igual a 145 ó 170 kg/mm². La armadura de los anclajes se compone de una serie de alambres paralelos, cuyo número suele oscilar entre 6 y 54.

Anclajes temporales profundos

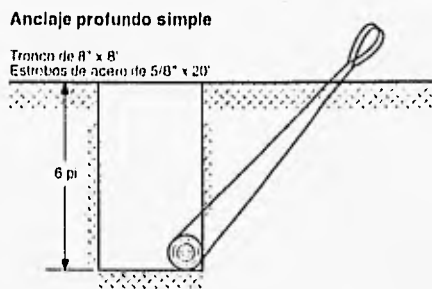


Fig. 3.3.3

3.3.1 Características de los anclajes.

Actualmente existe una gran variedad de anclajes, cuyas diferencias residen, esencialmente, en el tipo de armadura que utilizan, la forma de constituir la zona de anclaje y la disposición de la cabeza de abroche, a las que se debe de añadir el sistema de protección contra la corrosión cuando se trata de anclajes permanentes. Estas características pueden variar según que los anclajes deban ser sujetos en roca o terreno suelto.

Aunque la armadura pueda estar constituida por elementos metálicos o no metálicos muy diversos, como barras, tubos o perfiles laminados, por razones de ejecución y de economía se utilizan habitualmente los siguientes tipos:

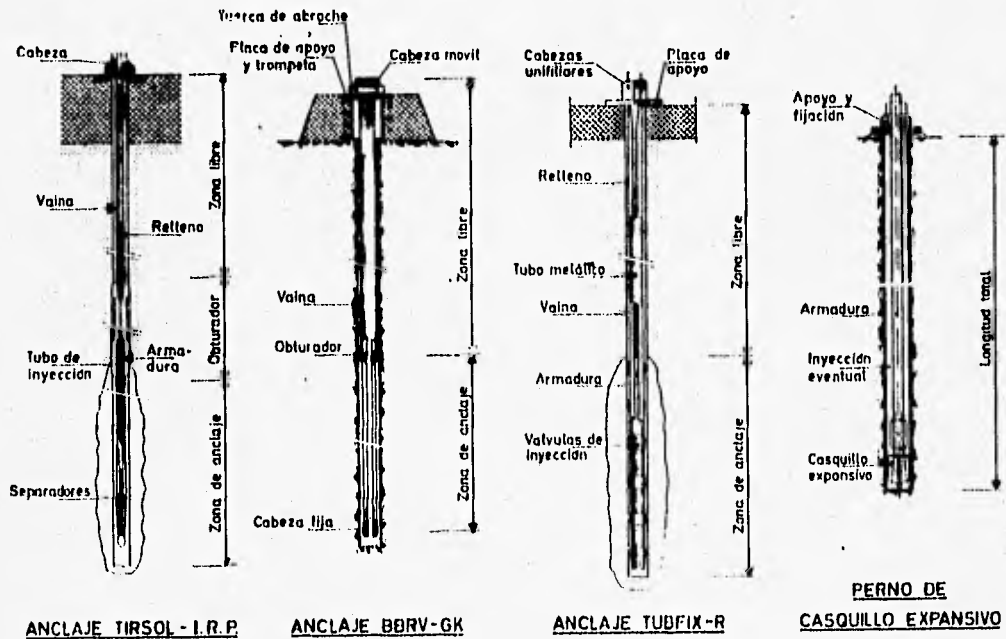
1. Alambre de acero de alta resistencia.
2. Barras de acero especial.

Alambre de alta resistencia ó alambre pretensado, se utiliza normalmente con diámetros comprendidos entre 5 y 8 mm. Este tipo de acero tiene una resistencia a la tracción de 160 a 190 kg/mm², y un límite elástico convencional con deformación permanente del 2%, igual a 145 ó 170 kg/mm². La armadura de los anclajes se compone de una serie de alambres paralelos, cuyo número suele oscilar entre 6 y 54.

En el caso de las barras de acero especial, con diámetros comprendidos entre 16 y 40 mm, tienen resistencia del orden de 60 a 85 kg/mm² con límite elástico convencional de 50 a 70 kg/mm². Se utilizan aislados (pernos de anclaje), ó en grupos para constituir la armadura de anclajes de baja capacidad.

Es importante que todos estos tipos de acero sean dúctiles, con alargamientos en rotura superiores al 4% para evitar la rotura frágil y facilitar, en caso necesario un reajuste de esfuerzos.

Cada perforación que aloja las armaduras suelen tener diámetros que oscilen entre 75 y 125 mm, y se efectúan utilizando diversas técnicas según la naturaleza y las características del terreno a travesar. Los anclajes adoptan formas y detalles muy variados en cuanto a la manera de constituir la zona de anclaje fig No. 3.3.4.



PERNO DE CASQUILLO EXPANSIVO

Fig. 3.3.4

Un dispositivo elemental es el casquillo expansivo-concebido para anclar en roca sana o bloques de hormigón, dado su carácter puntual. En los tirantes, la zona de anclaje se efectúa mediante inyecciones de lechada, a base de cemento, con relaciones cemento/agua iguales a 2 ó 1.5. Estas inyecciones se realizan a través de tuberías de P.V.C. equipadas, en las zonas de anclaje, con válvulas anti-retorno, que permiten obturar a distintas profundidades y conseguir una buena materialización del bulbo de anclaje, operación más delicada cuando se trata de terrenos sueltos.

Para poder efectuar la inyección a presión, que en ocasiones puede llegar a alcanzar valores de 25 y 30 kg/cm² el diseño de los anclajes incluye variados sistemas para independizar la zona de anclaje de la zona libre, y evitar que ésta se cimente con la lechada.

La transferencia de los esfuerzos de la armadura al terreno puede realizarse directamente a través de la lechada de inyección, ó indirectamente a través de tuberías metálicas.

Cada sistema de abroche de la armadura a la placa de apoyo puede estar constituido por tuercas, remachado o conos macho-hembra que bloquean la armadura por rozamiento. El abroche puede ser común al conjunto de la armadura o independiente para uno o varios elementos.

En el caso del comportamiento de los anclajes cuando la fuerza exterior actúa sobre la placa de apoyo depende de la placa, del tipo de anclaje y de las características de rigidez de la armadura y del terreno.

3.3.2 Capacidad resistente.

La capacidad resistente de los anclajes viene determinada por la resistencia de la armadura, y la resistencia de la zona de anclaje, en la que se transmiten los esfuerzos al terreno. La resistencia de la armadura determina la sección necesaria de acero.

En un anclaje se suelen definir los conceptos de carga límite y carga admisible.

Se entiende por carga límite, TL, el producto de la sección de acero A por la resistencia de cálculo que suele ser el límite elástico convencional σ_e , para un alargamiento permanente del 2 por 1,000 siempre que sea inferior al 90% de la carga de rotura.

$$TL = A \cdot \sigma_e$$

Una carga admisible T_a es igual a la carga límite multiplicada por un coeficiente de seguridad $\alpha < 1$.

$$T_a = \alpha \cdot TL$$

Para el coeficiente de seguridad, α , depende del carácter que deben tener los anclajes y de la confianza de las hipótesis y el método de cálculo utilizado para la determinación de los esfuerzos.

Suele utilizarse un valor de 0.6 en el caso de anclajes permanentes o provisionales con un plazo de utilización de 2 años y un valor de 0.75 para anclajes provisionales con periodo de servicio inferior a un año.

La resistencia de la zona de anclaje viene determinada, en primer lugar, por la adherencia entre el acero y la lechada de cemento, salvo que exista placa en el extremo de la armadura. En segundo lugar, por la posibilidad de deslizamiento entre el bulbo de anclaje y el terreno que lo rodea.

Tratándose de rocas sanas, la sección transversal del bulbo es igual, aproximadamente a la teórica de perforación y la resistencia corresponde en general a la adherencia entre la roca y la lechada de cemento. Cuando la zona de anclaje se sitúa en terreno suelto, se obtienen secciones mayores e irregulares, bien porque el terreno sea permeable a la lechada, bien porque se compacte o bien porque el terreno rompa debido a la presión de inyección.

Lo más conveniente para definir resistencia media al deslizamiento y la longitud de la zona de anclaje, es efectuar ensayos de adecuación con anclajes especialmente contruidos para determinar los parámetros resistentes. A los resultados se les aplica un coeficiente de seguridad que suele ser de 1.75 a 2.0 para anclajes provisionales y de 2.5 a 3.0 para anclajes permanentes.

A continuación se observan algunos valores de resistencia media al deslizamiento de bulbos inyectados, en distintos tipos de terreno:

<i>Tipo de terreno</i>	<i>Resistencia media al deslizamiento (kg/cm²)</i>
<i>Rocas duras (granito, gneis, caliza)</i>	<i>10 a 25</i>
<i>Roca floja</i>	<i>3 a 10</i>
<i>Gravas y arenas sueltas</i>	<i>7 a 10</i>
<i>Arenas medias y finas</i>	<i>3 a 6</i>
<i>Arcillas con resistencia a compresión simple:</i>	
<i>≥ 4 kg/cm²</i>	<i>>8.0</i>
<i>1 a 4 kg/cm²</i>	<i>4.0 a 8.0</i>
<i>0.5 a 1 kg/cm²</i>	<i>2.5 a 4.0</i>

Salvo que se efectien ensayos al respecto, no es aconsejable la realización de bulbos de anclaje en suelos arcillosos con indice de fluidez superior a 0.6, debido a los fenómenos de deformación viscosa que puede experimentar la zona de anclaje.

3.4 IMPLANTACION DEL MODULO BASE Y DE LOS ANCLAJES

El módulo base y los anclajes permanentes deben ser instalados según los planos de implantación de la topografía.

Al módulo base es fijado al suelo con la ayuda de varillas (barretas) de acero colocadas en los cuatro agujeros previstos para este fin en las cuatro esquinas de la base de la fundación.

En los sitios donde la estructura será levantada por rotación, dos anclajes temporales (con varillas de acero) serán instalados a cierta distancia de la fundación y fijados al módulo especial (base) por estrobo y montacarga que los mantendrán en tensión. Este anclaje de seguridad absorberá la fuerza horizontal producida en el curso de levantamiento.

Si el suelo es rocoso, los agujeros serán perforados en la roca y los pernos de anclaje puestos con lechada.

3.5 PROCEDIMIENTOS

La estructura es ensamblada por secciones, en plano y de preferencia alineada al módulo base. Para el ensamblaje de las estructuras que son erigidas por rotación, los tirantes permanentes son fijados a las platinas en los niveles indicados en los planos.

En el caso de los tirantes temporales, estos son conectados a las platinas de anclaje en los niveles indicados en los planos. Estos tirantes son cables de acero de 5/8 x 175' con un ojal al extremo que se fija a la estructura, un grillete es utilizado para fijar cada tirante temporal a la platina de anclaje. Se utilizara un grillete para fijar el otro extremo al aparejo enganchado en el anclaje, como indica la figura 3.5.1

Control de un tirante temporal

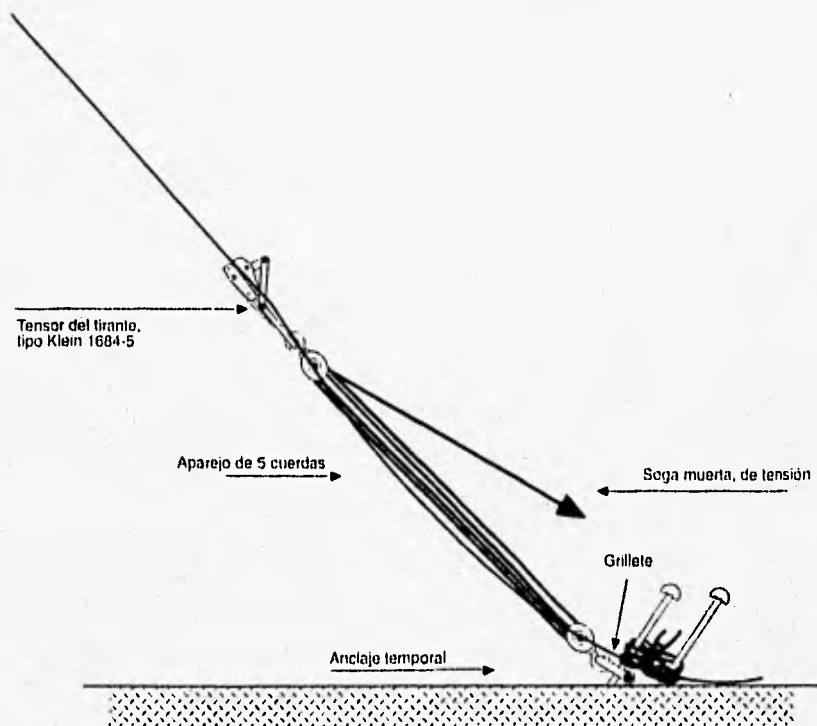


Fig. 3.5.1

CAPITULO 4

METODOS DE LEVANTAMIENTO

4.1 METODO DE LA PLUMA FLOTANTE

Una vez determinado el tipo de configuración que se utilizará para el restablecimiento de transmisión de energía y teniendo determinadas las características de topografía y condiciones de acceso de equipo y maquinaria, se procede a realizar el montaje de las estructuras.

Este método debe su nombre a que la pluma que se utiliza para realizar el levantamiento, se encuentra durante este proceso prácticamente flotando en la misma estructura. El método de levantamiento por medio de la pluma flotante, es considerado como el mas complejo y por consiguiente el que mas tiempo requiere para ser llevado a cabo en la construcción de estructuras de alta tensión. Este proceso se realizará en dos partes generales. La primera consiste en levantar el módulo base por medio de rotación y la segunda consiste en montar los módulos que se requieran por medio de la pluma.

Antes de empezar con las operaciones de montaje, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos :

a) Se debe tener especial cuidado en no sobrepasar la capacidad de trabajo de la pluma, como regla general se toma como factor de seguridad $FS=3$.

b) Debe tenerse especial cuidado en garantizar, que la parte de la estructura que se este ensamblando mantenga un alineamiento con la pluma.

4.1.1 Pluma multifunción

Las características de la pluma que se utilizará para el montaje, se describen en la figura 4.1.1. Es importante señalar que esta pieza puede ser de cualquier material y puede variar en dimensiones, lo único que debe garantizarse es que la pieza a usarse, cumpla con las características de resistencia y facilidad de manejo.



Cabeza removible para
lizeje por rotación con
la pluma montada sobre
el eje del mástil y sobre
el suelo.

**Pluma multifunción
Fig. 4.1.1**

Esta pluma puede servir para el
levantamiento con pluma flotante
por rotación con la pluma sobre
el suelo.



Pie removible de la pluma
para levantamiento por ro-
tación con la pluma sobre
el suelo.

Cuando la pluma flotante se encuentre en funcionamiento, deben considerarse las siguientes medidas :

- a) Todas las secciones deberán ser ensambladas del mismo lado de la estructura, todo esto siempre en oposición a la pluma flotante.*
- b) Las secciones que se coloquen deberán estar lo mas cerca posible de la base de la estructura, por lo cual hay que evitar que la pluma trabaje en ángulos muy grandes, debido a la posibilidad de alguna falla en la misma.*

Además de esto, deben cuidarse también los siguientes puntos :

En cualquier tipo de configuración que se vaya a construir, siempre se utilizarán dos tipos de tirantes, los llamados temporales y permanentes.

Las características de estos cables, son :

Cables de Acero				
	Diámetro	Longitud	Peso	Unidad
Tirantes Permanentes	9/16 "		0.48	Kg/m
Tirantes Temporales	5/8 "	175 ft	29	Kg.

TABLA 4.1.A.

Este método de levantamiento requiere la utilización de dos juegos de cuatro tirantes temporales y cuatro aparejos que utilizaremos alternativamente para mantener la estructura en equilibrio, también es necesario usar, anclajes temporales y anclajes permanentes. Este punto referente a los anclajes, se trata en el capítulo de trabajos previos al levantamiento, pero consideramos importante señalar que en la correcta elección de este, estriba la posibilidad de que la estructura de restablecimiento de transmisión sea solamente temporal ó que pueda considerarse la posibilidad de mantenerla como permanente.

4.1.2 Posición de anclajes del mástil y de la pluma

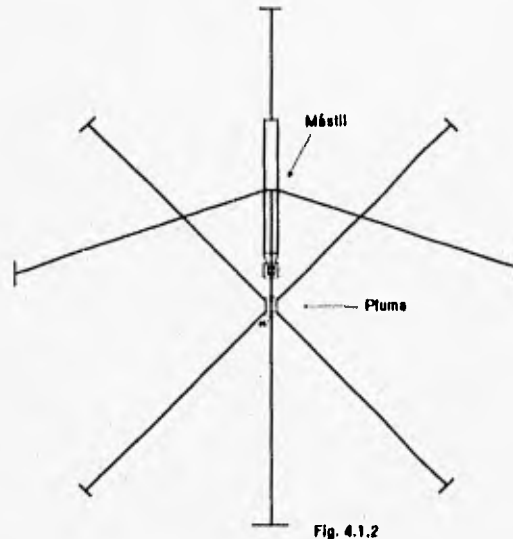
Para el levantamiento de las estructuras por este tipo de método, será necesaria la utilización de cuatro anclajes temporales para la estructura y 4 anclajes temporales mas para los tirantes de la pluma flotante. Considerando esto nos damos cuenta que será necesaria la utilización de un juego mas de cuatro tirantes temporales de acero de 5/8" x 175 ft., y cuatro aparejos conectados a los anclajes temporales para mantener la pluma en su condición de flotante. Para la colocación de los anclajes temporales, debe tenerse en cuenta los aspectos siguientes :

a) La distancia entre la base de una estructura y un anclaje temporal se aproxima a la altura misma de la estructura, es pues necesario el conservar un ángulo aproximado de 45°.

Esta condición, también es aplicable para los tirantes de la pluma.

b) Los tirantes de la estructura serán colocados sobre el eje y perpendiculares a la línea de transmisión, a su vez los tirantes de la pluma serán colocados a 45° de los otros. (Ver esquema 4.1.2).

Posición de los anclajes del mástil y de la pluma antes de la rotación.

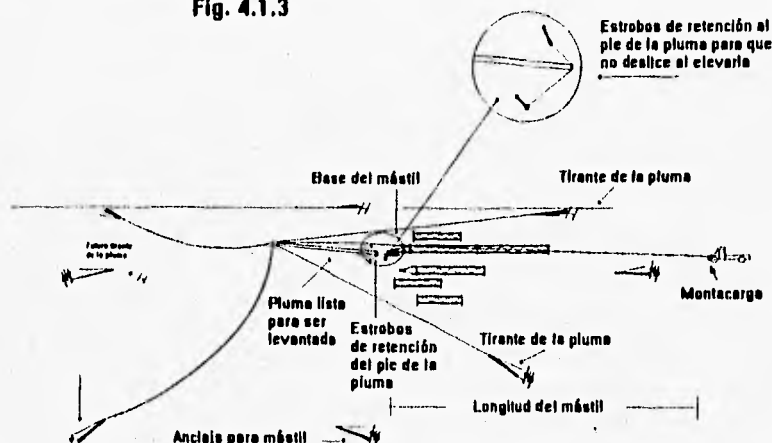


4.1.3 Levantamiento de la pluma flotante

Planteadas las condiciones anteriores, estamos en posibilidad de empezar a describir el método de levantamiento por medio de la pluma flotante. La primera operación a realizar es la colocación de la pluma para la rotación del módulo base. Esta se coloca aproximadamente a 1.50 metros de la estructura por levantar, a continuación se procede a fijar la base de la pluma al suelo para evitar posibles desplazamientos de la misma al momento de realizar la rotación. La fijación de la pluma se realiza por medio de dos estrobo y dos varillas de acero clavadas en el suelo. Ver figura 4.1.3.

Al mismo tiempo que se realiza la operación de fijación de la pluma, es necesario colocar los tirantes en la cabeza de la misma y su correspondiente extensión sobre el suelo en dirección a su anclaje correspondiente. En este punto de unión del tirante y del anclaje, se encuentra alistado un aparejo que tiene la finalidad de controlar la longitud del tirante cuando la pluma se encuentre trabajando como flotante durante el proceso de levantamiento.

Levantamiento de la pluma flotante
Fig. 4.1.3

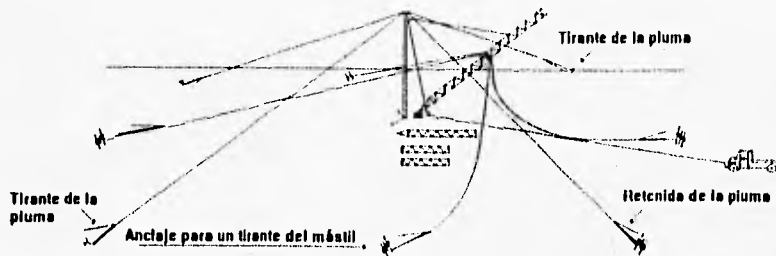


Observando con detenimiento el figura 4.1.3, podremos darnos cuenta que en el momento que la pluma adquiere un cierto ángulo de inclinación, los dos tirantes de esta que se encuentran colocados en dirección del sitio de tiro, pueden también tomar parte en el proceso de poner en posición vertical la pluma. Es importante el mencionar que el proceso de poner en posición vertical la pluma, también es posible conseguirlo mediante la utilización de una segunda pluma mucho mas pequeña, la cual solo será necesario fijarla con cuatro tirantes de polipropileno, los cuales solo estarán anclados a cuatro varillas de acero, hincadas en el terreno natural.

4.1.4 Levantamiento de la parte inferior del mástil por rotación

Cuando la pluma alcance su posición vertical, los tirantes de esta son tensados y en ese momento ya es posible realizar la rotación de la primera parte de la estructura. La rotación se realiza utilizando la pluma erigida previamente, el cable se amarra a la estructura y este se hace pasar por la polea de la pluma de donde finalmente llega al equipo de tiro. Este proceso se muestra en la figura 4.1.4.

Levantamiento de la parte inferior del mástil por rotación
Fig. 4.1.4



La rotación no tiene ningún problema, siempre y cuando se cheque periódicamente la alineación de la estructura y el equipo de tiro. Una vez que la estructura está en posición vertical, los tirantes encargados de sostenerla son tensados y con esta operación este paso ha sido concluido. A partir de ahora se empezarán los preparativos para colocar los módulos necesarios sobre el módulo base.

Al proceso que se desarrolla a continuación es lo que se conoce realmente como método de la pluma flotante.

Para colocar la pluma en calidad de flotante, será necesario poner una polea lo más alto posible en la estructura para enseguida pasar el cable de levantamiento por esta, después el cable pasará por otra polea colocada en la parte baja de la estructura antes de dirigirse al equipo de tiro.

En este momento los tirantes de la pluma son aflojados, de modo que esta se inclina hacia la estructura, ahora se conecta el cable de levantamiento a la cabeza de la pluma y se desconectan los cuatro tirantes temporales, para de este modo iniciar el levantamiento de la misma. Cuando la pluma se ha levantado lo más alto posible, se suben los tirantes por medio de cuerdas de servicio y estos se conectan a la cabeza de la pluma, además se tendrán que subir dos aparejos los cuales servirán para fijarla con la estructura, una vez que los aparejos han sido colocados, los tirantes de la pluma son tensados. Al conseguir la posición y la altura deseada, la pluma es amarrada a la estructura por medio de estobos, los tirantes son bien tensados y los aparejos son soltados.

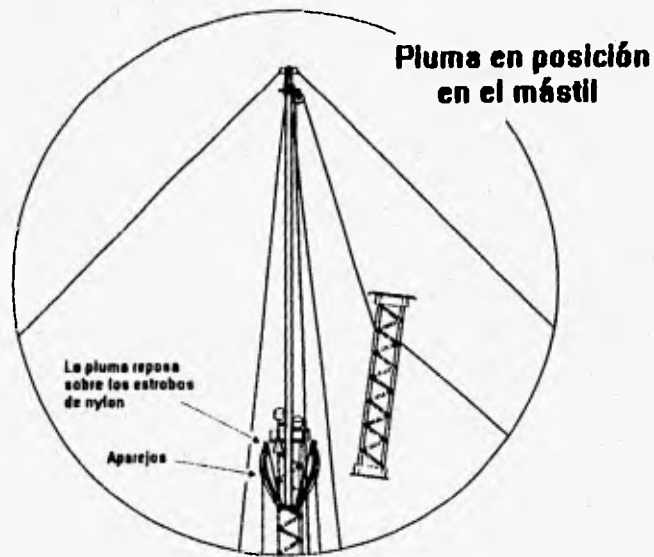
En este momento se considera que la pluma flotante esta lista para trabajar.

4.1.5 Pluma en posición en el mástil

Ahora, tenemos en campo la siguiente situación :

- 1.- Una cierta parte de la estructura ya esta levantada y sostenida por anclajes temporales.*
- 2.- La pluma se encuentra flotando en la estructura.*

Para continuar con el proceso de levantamiento, otros cuatro tirantes temporales son colocados y sus extremos son puestos sobre el suelo cerca de la base de la estructura. Estos tirantes tendrán la finalidad de sostener la próxima sección que será colocada. Los dos juegos de tirantes van alternando su posición mientras el proceso de levantamiento continúe, y serán remplazados por los tirantes permanentes hasta que la colocación de estos sea posible.



En este momento se considera que la pluma flotante esta lista para trabajar.

4.1.5 Pluma en posición en el mástil

Ahora, tenemos en campo la siguiente situación :

- 1.- Una cierta parte de la estructura ya esta levantada y sostenida por anclajes temporales.*
- 2.- La pluma se encuentra flotando en la estructura.*

Para continuar con el proceso de levantamiento, otros cuatro tirantes temporales son colocados y sus extremos son puestos sobre el suelo cerca de la base de la estructura. Estos tirantes tendrán la finalidad de sostener la próxima sección que será colocada. Los dos juegos de tirantes van alternando su posición mientras el proceso de levantamiento continúe, y serán remplazados por los tirantes permanentes hasta que la colocación de estos sea posible.

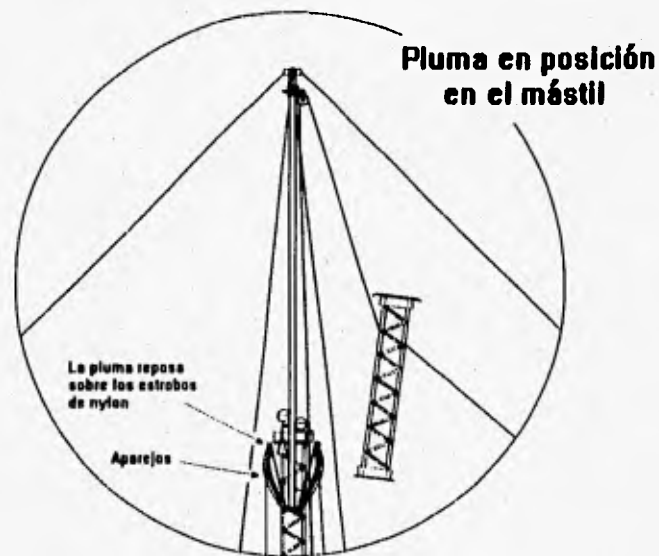


Fig. 4.1.5

Si la longitud de la pluma es muy poca, será necesaria su continua elevación tal como se hizo la primera vez, y este proceso será repetido hasta que la estructura sea montada en su totalidad. Una vez que la estructura está terminada, la pluma será bajada por medio de aparejos, después se procederá a tensar todos los tirantes permanentes con una fuerza de 230 kg.

Para el proceso de tensado de los tirantes se hará uso de un estrobo de 3 pies, un dinamómetro y un tensor de cable. El ajuste siempre se iniciará en los tirantes inferiores para terminar con los más altos, el ajuste final se realiza utilizando un teodolito para comprobar la verticalidad de la estructura.

En aspectos generales este es el proceso que se sigue para el montaje de las estructuras de restablecimiento de transmisión de energía, por medio del método de la pluma flotante.

4.1.6 Revisión de esfuerzos

En este momento teniendo ya un panorama más amplio de las características del primer método de levantamiento, es claro ver que durante el proceso de montaje se desarrollan una serie de esfuerzos en los elementos que intervienen en este. Es por esta razón que a continuación se presenta una serie de ecuaciones que nos indican la magnitud de dichos esfuerzos.

Para la deducción de estas ecuaciones, nos basaremos en el siguiente esquema representativo.

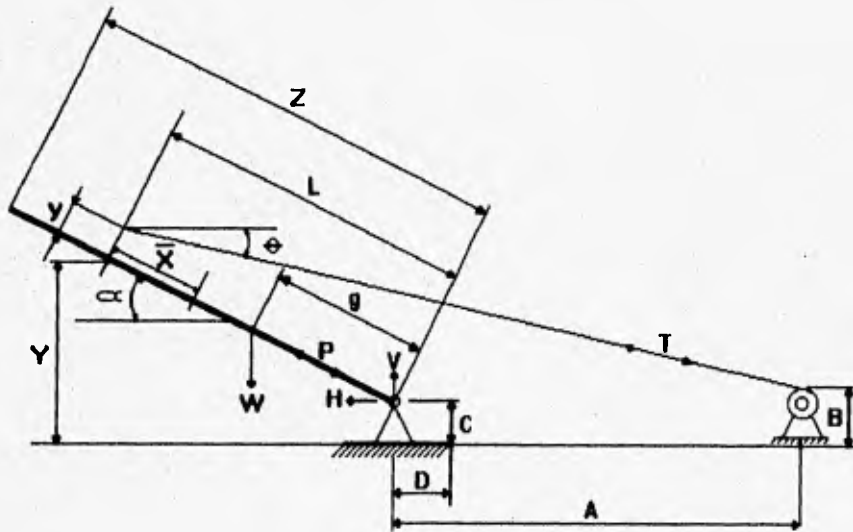


FIGURA 4.1.6.

Las ecuaciones son las siguientes :

$$\text{sen } \alpha = \frac{(Y - C)}{L}$$

Por lo tanto :

$$\alpha = a \text{ sen } \frac{(Y - C)}{L}$$

El ángulo θ será igual a :

$$\text{Cateo Opuesto} = L \text{ sen } (\alpha) + c + q \text{ cos } (\alpha) - B$$

$$\text{Cateo Adyacente} = L \text{ cos } (\alpha) - q \text{ sen } (\alpha) + A$$

Entonces :

$$\tan \theta = \frac{L \text{ sen } \alpha + C + q \text{ cos } \alpha - B}{L \text{ cos } \alpha - q \text{ sen } \alpha + A}$$

Por lo tanto :

$$\theta = \text{atan} \left(\frac{L \text{ sen } \alpha + q \text{ cos } \alpha + C - B}{L \text{ cos } \alpha - q \text{ sen } \alpha + A} \right)$$

Una vez habiendo calculado las características geométricas, obtendremos los elementos mecánicos que se presentan en el proceso.

La estática nos brinda tres ecuaciones básicas de equilibrio.

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma McF = 0$$

Aplicando estas llegamos a:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$V - W + T \text{ sen } \theta = 0$$

Por lo tanto :

$$V = W + T \operatorname{sen}\theta$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$-H + T \cos\theta = 0$$

Por lo tanto :

$$H = T \cos\theta$$

Finalmente tenemos :

$$\Sigma M_c F = 0$$

Primero descompondremos la fuerza "T" en sus componentes "Tx" y "Ty".

$$T_x = T \cos\theta$$

$$T_y = T \operatorname{sen}\theta$$

Ahora tomando momentos con respecto a "o", encontramos lo siguiente :

$$\Sigma M_o F = 0$$

$$-W g \cos(\alpha) + T \cos(\theta) L \operatorname{sen}(\alpha) + q \cos(\alpha) - T \operatorname{sen}(\theta) [L \cos(\alpha) - q \operatorname{sen}(\alpha)] = 0$$

Reduciendo, llegamos a :

$$T = \frac{Wg \cos \alpha}{\left[\cos \theta (L \operatorname{sen} \alpha + q \cos \alpha) - \operatorname{sen} \theta (L \cos \alpha - q \operatorname{sen} \alpha) \right]}$$

El desarrollo de las ecuaciones anteriores nos permite conocer la tensión del cable, la fuerza cortante y la fuerza normal en la rótula del módulo base de la estructura.

A continuación para conocer la carga axial que se produce en el mástil durante el proceso de levantamiento, hacemos lo siguiente:

En el mástil van a tener incidencia 2 condiciones, las cuales son :

- a) El peso propio de la estructura*
- b) La tensión en el cable de levantamiento (función del peso).*

El ángulo que guarda el cable de tiro con la horizontal y que hemos llamado θ y el ángulo que guarda la estructura con respecto a la horizontal y que hemos denominado α , serán los que determinen la magnitud de la fuerza axial que le será aplicada a la estructura. A la combinación de los ángulos α y θ , se le denominará a partir de ahora β , y su relación será :

$$\beta = \alpha - \theta$$

Entonces la descomposición de la fuerza T (cable de tiro) en relación al eje de la estructura en rotación, será :

$$T_x = T \cos \beta$$

Por lo tanto la ecuación que nos determina la carga axial que se presenta en el mástil, esta dada por :

$$P = W \sin \alpha + T \cos \beta$$

Ahora deduciremos las ecuaciones, que nos indicaran la magnitud del momento flexionante al que es sometido el mástil durante la rotación, el momento de volteo y el momento de estabilidad en la estructura así como la ubicación del centro de gravedad.

Primero analizaremos el caso del momento de estabilidad y del momento de volteo.

Tenemos que en la base de la estructura (específicamente en la rótula), están actuando 2 cargas, estas son la carga vertical y el cortante en el eje de la rótula. Estas 2 fuerzas nos originan el momento de estabilidad y el momento de volteo respectivamente y se determinan por las ecuaciones siguientes :

$$M_{\text{estabilidad}} = V * D$$

$$M_{\text{volteo}} = H * C$$

Con estos dos momentos calculados podremos determinar hasta que longitud de mástil es posible levantar en un solo movimiento, sin la necesidad de utilizar elementos de retención secundarios.

Llamaremos a esta relación de momentos como :

$$Mr = \text{Momento de estabilidad} / \text{Momento de Volteo}$$

y cuando :

$Mr < 1$ Será necesaria la utilización de elementos de retención.

$Mr > 1$ No requerirá elementos de retención especiales.

En seguida determinaremos el momento que se produce en el plano de unión (Lugar donde se encuentra colocada la platina).

Tenemos que el esfuerzo cortante que se produce en la columna es :

$$Wc = W \cos \alpha$$

Ahora expresaremos la fuerza cortante calculada como promedio, en función de la longitud total del mástil a levantar.

$$W_{\text{promedio}} = \frac{W \cos \alpha}{Z} [\text{Kg} / \text{m}]$$

Donde Z = longitud total de la columna.

A continuación para determinar el momento que se produce, tenemos :

$$M_l = \left(\frac{W \cos \alpha}{Z} \right) (Z - l) \left(\frac{Z - l}{2} \right)$$

Reduciendo esta expresión, llegamos a:

$$M_l = \left(\frac{W \cos \alpha}{Z} \right) \left(\frac{(Z - l)^2}{2} \right)$$

Para determinar la magnitud del momento flexionante que se presenta en la parte baja del mástil, y que es el máximo, estará dado por la siguiente ecuación :

$$M_x = \left(\frac{W \cos \alpha}{Z} \right) \left(\frac{(Z - l + X)^2}{2} \right) + T \sin \theta (X \cos \alpha - q \sin \alpha) - T \cos \theta (X \sin \alpha + q \cos \alpha)$$

Para encontrar la ubicación donde se produce este momento, tenemos que derivar la expresión anterior con respecto a "x" e igualar a cero.

Por lo tanto, llegamos a :

$$X = \left[\frac{T(\cos\theta \operatorname{sen} \alpha - \operatorname{sen} \theta \cos \alpha)}{\frac{W \cos \alpha}{Z}} \right] - Z + L$$

Finalmente, será necesario llevar a cabo la revisión de esfuerzos en el mástil debido a esfuerzos de flexión - compresión. Esta revisión se realizará mediante la fórmula establecida por Timoshenko y la cual se conoce como fórmula de la secante.

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} \left[1 + \left(\frac{ec}{r^2} \sec \frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \right]$$

Donde :

σ_{\max} = Esfuerzo máximo en la columna.

$\frac{P}{A}$ = Esfuerzo medio de compresión.

$\frac{ec}{r^2}$ = Relación de excentricidad.

$\frac{L}{r}$ = Relación de esbeltez.

El análisis anterior es necesario, ya que no es posible analizar por separado los efectos de la flexión y de la compresión, ya que si observamos la gráfica 4.1.7.

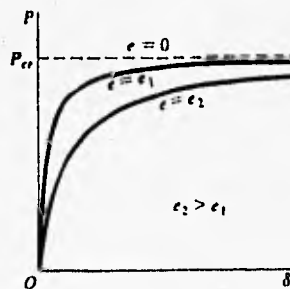


FIGURA 4.1.7

Podemos darnos cuenta que no existe proporcionalidad entre la carga "P" y la flecha que produce, por tanto aunque las flechas permanezcan pequeñas y el material siga siendo linealmente elástico, no puede emplearse el principio de superposición. La razón de esta conclusión se entiende fácilmente si consideramos que las cargas indicadas en la figura 4.1.7. son equivalentes a cargas centralmente aplicadas, P, mas pares, "P*e", que actúan en los extremos. Si solo actuaran los pares "P e", producirían flechas que se pueden hallar de la manera usual para la flexión de vigas. En tal caso, la presencia de pequeñas flechas en la viga, no cambia la acción de las cargas, y los momentos flexionantes en ella se pueden calcular sin la de la flecha o deflexión de la viga. Sin embargo, cuando además hay una carga axial sobre la columna, las flechas producidas por los pares, "P* e", hacen que la fuerza axial tenga una acción flexionante y un efecto de compresión. Tal acción flexionante de la fuerza axial produce flechas adicionales, que a su vez influyen en los momentos de flexión. Así pues, los momentos flexionantes no se pueden hallar independientemente de las flechas, y existirá una relación no lineal entre la carga axial y las deflexiones.

A si mismo, es conveniente señalar que si la fuerza axial que actúa sobre la columna de la figura anterior, es extremadamente pequeña en relación con la carga crítica (por ejemplo, menor que 2% de esta carga), entonces la cantidad $kl/2$ (de la ecuación que nos determina la flecha en el punto medio de una columna doblemente articulada), será lo suficientemente pequeña que permite representar la función secante por los dos primeros términos de su desarrollo en serie :

$$\sec \frac{Kl}{2} = 1 + \left(\frac{K^2 \cdot l^2}{8} \right)$$

Sustituyendo esto en la ecuación que nos determina la flecha, vemos que el resultado coincide con la flecha en el punto medio de una viga simplemente apoyada en la que actúan pares "P* e" en ambos extremos. Por tanto se puede concluir que siempre que la fuerza axial, P, es muy pequeña en relación con P_{cr} , como en el caso de un puntal corto, el efecto de las flechas sobre la magnitud del momento flexionante puede despreciarse y se podrán emplear las fórmulas usuales de las flechas en vigas.

Para realizar el análisis correspondiente del mástil, se hará mención de las propiedades geométricas de las largueros que componen cada módulo y de la sección en su conjunto, y se indicarán las características del material que se utiliza en la construcción de los elementos (Aluminio aleación 6061-T6).

Podemos darnos cuenta que no existe proporcionalidad entre la carga "P" y la flecha que produce, por tanto aunque las flechas permanezcan pequeñas y el material siga siendo linealmente elástico, no puede emplearse el principio de superposición. La razón de esta conclusión se entiende fácilmente si consideramos que las cargas indicadas en la figura 4.1.7, son equivalentes a cargas centralmente aplicadas, P, mas pares, "P*e", que actúan en los extremos. Si solo actuaran los pares "P e", producirían flechas que se pueden hallar de la manera usual para la flexión de vigas. En tal caso, la presencia de pequeñas flechas en la viga, no cambia la acción de las cargas, y los momentos flexionantes en ella se pueden calcular sin la de la flecha o deflexión de la viga. Sin embargo, cuando además hay una carga axial sobre la columna, las flechas producidas por los pares, "P*e", hacen que la fuerza axial tenga una acción flexionante y un efecto de compresión. Tal acción flexionante de la fuerza axial produce flechas adicionales, que a su vez influyen en los momentos de flexión. Así pues, los momentos flexionantes no se pueden hallar independientemente de las flechas, y existirá una relación no lineal entre la carga axial y las deflexiones.

A si mismo, es conveniente señalar que si la fuerza axial que actúa sobre la columna de la figura anterior, es extremadamente pequeña en relación con la carga crítica (por ejemplo, menor que 2% de esta carga), entonces la cantidad $kl/2$ (de la ecuación que nos determina la flecha en el punto medio de una columna doblemente articulada), será lo suficientemente pequeña que permite representar la función secante por los dos primeros términos de su desarrollo en serie :

$$\sec \frac{Kl}{2} = 1 + \left(\frac{K^2 \cdot l^2}{8} \right)$$

Sustituyendo esto en la ecuación que nos determina la flecha, vemos que el resultado coincide con la flecha en el punto medio de una viga simplemente apoyada en la que actúan pares "P* e" en ambos extremos. Por tanto se puede concluir que siempre que la fuerza axial, P, es muy pequeña en relación con P_{cr} , como en el caso de un puntal corto, el efecto de las flechas sobre la magnitud del momento flexionante puede despreciarse y se podrán emplear las fórmulas usuales de las flechas en vigas.

Para realizar el análisis correspondiente del mástil, se hará mención de las propiedades geométricas de las largueros que componen cada módulo y de la sección en su conjunto, y se indicarán las características del material que se utiliza en la construcción de los elementos (Aluminio aleación 6061-T6).

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LOS LARGUEROS

Peso/pie	Área	Fig. 1-1 y Fig. 1-2				Fig. 1-3
		<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>c</i>	<i>r min.</i>
lb	in ²	in ⁴	in ³	in	in	in
9.4000	2.7500	2.2200	1.0700	0.8980	0.9320	0.5840
kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm
4.2638	17.7419	92.4034	17.5342	2.2809	2.3673	1.4834

TABLA 4.1.B

Las aleaciones de aluminio que se utilizan en general para trabajos estructurales se conocen comercialmente como 2014-T6, 6061-T6, 6062-T6, 6063-T5 y 6063-T6. El número de estas denominaciones identifica la composición de la aleación, la "T" significa que el metal ha sido tratado al calor y el número final indica el tipo de tratamiento. Aunque estas aleaciones pesan solo un 36% del peso del acero, pueden competir únicamente cuando su alto costo inicial se ve compensado por ventajas tales, como peso mas ligero, resistencia a la corrosión, menor mantenimiento y apariencia.

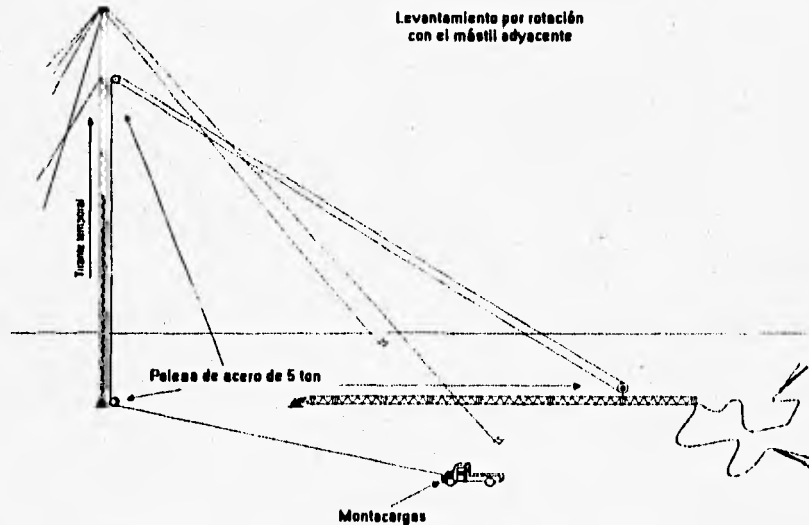
4.2 LEVANTAMIENTO UTILIZANDO UNA ESTRUCTURA ADYACENTE

Este procedimiento tiene su aplicación cuando es necesario levantar estructuras de dos o más mástiles como la estructura tipo Chainette. En aspectos generales, el proceso consiste en levantar el primer mástil de la estructura, utilizando algún procedimiento constructivo ya explicado por ejemplo (Levantamiento utilizando pluma flotante), una vez realizado este proceso, se utiliza la estructura erigida como pluma para levantar el segundo mástil por medio del proceso conocido como rotación.

4.2.1 Levantamiento por rotación con el mástil adyacente

El segundo mástil es ensamblado totalmente en el suelo, lo cual origina que este proceso se desarrolle muy rápidamente. Para poder llevar a cabo la rotación del segundo mástil, se necesitará contar con dos tirantes laterales, con anclajes alineados al pie del mástil. Además se requerirá que los tirantes permanentes ya estén colocados en sus anclajes respectivos tanto en el terreno natural como en la estructura, ya que la función de estos será de vital importancia para evitar que cuando el segundo mástil llegue a su posición vertical este continúe su camino y por esta situación pueda producirse un choque con la otra estructura, ocasionando daños en las mismas, ver la figura 4.2.1.

Levantamiento por rotación
con el mástil adyacente
Fig. 4.2.1



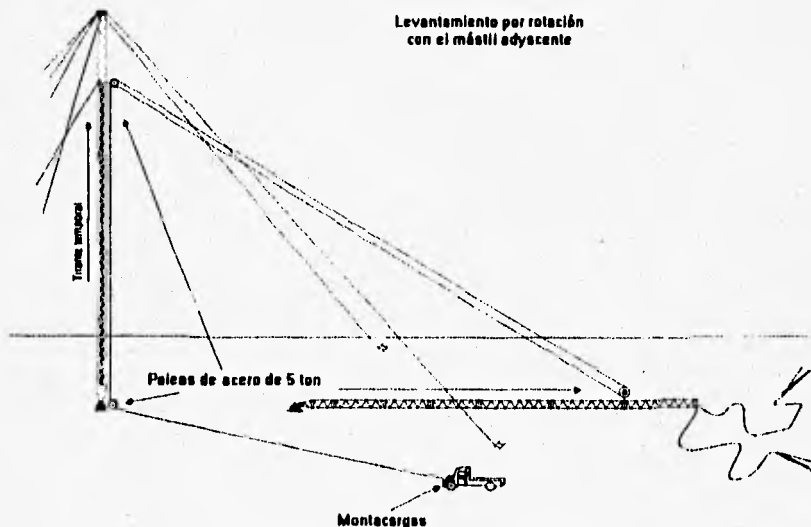
4.2 LEVANTAMIENTO UTILIZANDO UNA ESTRUCTURA ADYACENTE

Este procedimiento tiene su aplicación cuando es necesario levantar estructuras de dos o mas mástiles como la estructura tipo Chainette. En aspectos generales, el proceso consiste en levantar el primer mástil de la estructura, utilizando algún procedimiento constructivo ya explicado por ejemplo (Levantamiento utilizando pluma flotante), una vez realizado este proceso, se utiliza la estructura erigida como pluma para levantar el segundo mástil por medio del proceso conocido como rotación.

4.2.1 Levantamiento por rotación con el mástil adyacente

El segundo mástil es ensamblado totalmente en el suelo, lo cual origina que este proceso se desarrolle muy rápidamente. Para poder llevar a cabo la rotación del segundo mástil, se necesitará contar con dos tirantes temporales laterales, con anclajes alineados al pie del mástil. Además se requerirá que los tirantes permanentes ya estén colocados en sus anclajes respectivos tanto en el terreno natural como en la estructura, ya que la función de estos será de vital importancia para evitar que cuando el segundo mástil llegue a su posición vertical este continúe su camino y por esta situación pueda producirse un choque con la otra estructura, ocasionando daños en las mismas, ver la figura 4.2.1.

Levantamiento por rotación
con el mástil adyacente
Fig. 4.2.1

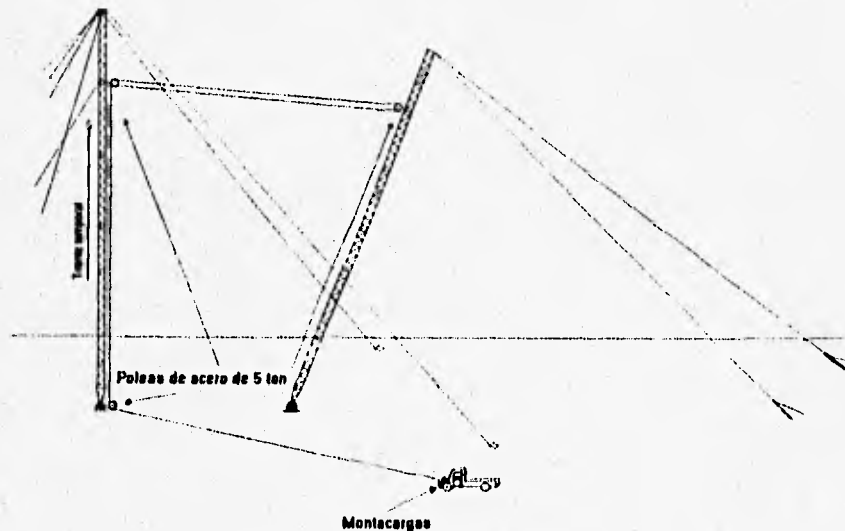


4.2.2 Rotación con el mástil adyacente

Asimismo, para poder realizar el proceso de rotación, será necesario utilizar tres poleas de siete toneladas de capacidad como mínimo, la primera de ellas se tiene que colocar en la base del mástil vertical, la segunda tiene que estar aproximadamente a $4/5$ de la altura del mismo y la tercera de las poleas se tiene que ubicar en el mástil tendido sobre el terreno, aproximadamente a $4/5$ de la altura. Una vez realizado el proceso anterior, se tiene que proceder a la colocación del cable de tiro, este cable es de las mismas características que el utilizado en el método de levantamiento por medio de la pluma flotante (ver tabla 4.1.A).

El cable de tiro partirá desde el equipo encargado de esta operación y luego pasará por la polea ubicada en la parte inferior del mástil que servirá de apoyo en el proceso, enseguida continuará por la polea superior que se encuentra en el mismo mástil, después este cable seguirá por la polea ubicada en el mástil por levantar, para finalmente regresar a la polea ubicada en la parte superior del mástil vertical en donde es fijada. Para tener una idea mas clara de este proceso, obsérvese la figura 4.2.2.

Rotación con el
mástil adyacente
Fig. 4.2.2



Este proceso es de suma importancia, ya que la colocación del cable de tiro, nos permite reducir grandemente la potencia del equipo que tendrá a su cargo dicha tarea. El equipo de tiro solo tendrá que jalar con la mitad de la carga ya que el cable esta instalado doble.

Como un ejemplo de esto, haremos mención del mástil de la estructura tipo Chainette la cual tiene un peso de 2,029 kg., para una longitud de 36.27 mts. Para este caso el equipo de tiro solo tendrá que levantar en realidad, la mitad del peso de la estructura.

El proceso de levantamiento debe de realizarse muy lentamente, y la longitud de los tirantes temporales será controlada por medio de los aparejos, una vez que el segundo mástil alcance su posición vertical, los tirantes permanentes efectúan su ajuste.

4.2.3 Revisión de esfuerzos

A continuación se presentan una serie de ecuaciones, que tienen la finalidad de determinar los esfuerzos a los que es sometida la estructura, durante el proceso de levantamiento. Para el siguiente desarrollo, nos basaremos en el siguiente esquema representativo del proceso de levantamiento.

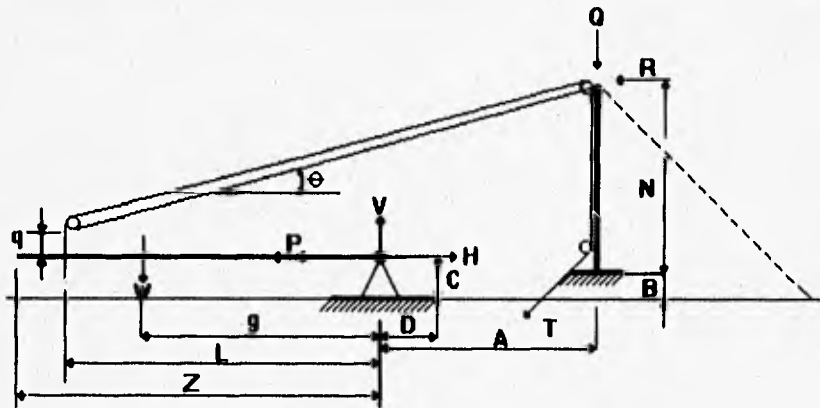


Figura 4.2.3

Tenemos que :

$$\tan\theta = \frac{(N + B - C - q)}{(L + A)}$$

Por lo tanto:

$$\theta = \arctan \left[\frac{(N + B - C - q)}{(L + A)} \right]$$

Aplicando :

$$\Sigma F_y = 0$$

$$V - W + 2 T \operatorname{sen} \theta = 0$$

Por lo tanto :

$$V = W - 2 T \operatorname{sen} \theta$$

A continuación, tenemos :

$$\Sigma F_x = 0$$

$$-H + 2 T \cos \theta = 0$$

$$H = 2 T \cos \theta$$

Donde :

$$P = 2 T \cos \theta$$

Por lo tanto :

$$H = P$$

En seguida calcularemos el momento de estabilidad y de volteo respectivamente :

$$M_e = V * D$$

$$M_v = H * C$$

La relación entre el momento de estabilidad y de volteo será :

$$R = \frac{M_e}{M_v}$$

si $R > 1$ La columna no requiere de ningún tipo especial de elemento para retención.

si $R < 1$ La columna tiene que ser arriostrada para evitar el volteo.

Tenemos que la fuerza de tensión en el cable será :

$$\Sigma M_o F = 0$$

$$-W g + 2 T \operatorname{sen} \theta L + 2 T \cos \theta q = 0$$

Despejando la tensión "T", tenemos :

$$T = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\frac{(Wg)}{L \cdot \text{sen} \theta + q \cos \theta} \right]$$

A continuación vamos a calcular las fuerzas que se producen en la polea ubicada en la parte superior de la columna vertical.

$$\Sigma Fy = 0$$

$$-Q + 2T \text{sen} \theta - T = 0$$

Despejando Q, tenemos :

$$Q = T (2 \text{sen} \theta - 1)$$

Y aplicando $\Sigma Fx = 0$, obtendremos :

$$R = 2T \cos \theta$$

Ahora obtendremos los momentos que se producen en el mástil a levantar.
Primero calcularemos el momento que se produce en el plano de unión de la placa .

$$M_L = \frac{W}{Z} (Z - L) \left(\frac{(Z - L)}{2} \right)$$

Por lo tanto :

$$M_L = \frac{W}{Z} \left[\frac{(Z - L)^2}{2} \right]$$

Finalmente calcularemos el momento que se produce en la parte inferior de la columna .

$$M_x = \left(\frac{W}{Z} \right) \left(\frac{(Z - L + x)^2}{2} \right) - 2Tx \text{sen} \theta - 2Tq \cos \theta$$

Para obtener la colocación del momento, derivaremos la ecuación de momentos respecto a "x" e igualaremos a cero.

Por lo tanto, tenemos:

$$x = \left[\frac{2T \sin \theta}{\left(\frac{W}{Z} \right)} \right] + L - Z$$

Finalmente la revisión de esfuerzos se llevara a cabo de la misma manera que en el método de levantamiento por medio de la pluma flotante.

4.3 LEVANTAMIENTO POR ROTACION CON PLUMA AUXILIAR INSTALADA EN EL EJE DEL MODULO BASE

Este método, es el mas recomendable de utilizar cuando las condiciones topográficas sean convenientes para el acceso del equipo al lugar donde se ubicaran las estructuras. Este proceso de levantamiento ha sido desarrollado con el fin de disminuir el momento de volteo de la estructura durante la rotación del mástil.

Utilizando este sistema por rotación sobre el eje de la estructura, se elimina la necesidad de usar los anclajes adicionales del módulo base, ya que solamente se utilizan 4 varillas de acero clavadas en el suelo a través de los agujeros previstos para este efecto.

El procedimiento de levantamiento de una estructura de emergencia utilizando una pluma auxiliar instalada en el eje del módulo base se divide en los siguientes pasos:

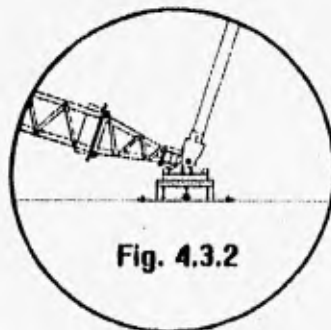
4.3.1 Ensamblaje de la estructura:

Este proceso consiste en armar la estructura de emergencia en su totalidad sobre el suelo uniendo los distintos módulos que componen el mástil por medio de 8 pernos de 5/8" grado 5 necesarios para unir cada módulo componente del mástil.

4.3.2 Ensamblaje de la pluma auxiliar:

El ensamblaje para el levantamiento por rotación, es similar al que hemos efectuado para la rotación con pluma auxiliar en el suelo. La diferencia radica en colocar la pluma auxiliar sobre el eje de la estructura en vez de que sea al lado de la base, esto permite aplicar una mayor fuerza vertical sobre el eje y por lo tanto se reduce el momento de volteo en la base, (ver figura 4.3.2).

Pluma montada sobre el eje del mástil



4.3.3 Descripción de la pluma auxiliar:

La pluma utilizada para esta rotación mide 33,7 ft. y posee una capacidad de trabajo de 17,000 lb. aproximadamente, debe considerarse un factor de seguridad de 3, por la que la pluma no podrá soportar cargas mayores de 5,700 lb. Esta pluma multifuncional posee una polea en la cabeza para uso como pluma auxiliar, un soporte de polea cerrada y doases removibles. La cabeza de la pluma consiste esencialmente de una polea abierta cuyos brazos están separados para permitir el paso de un cable de acero de 5/8" que se conectará a la parte superior de la estructura a erezgir, además la pluma cuenta con un soporte de polea cerrada en la cabeza de la pluma y un pie de mástil removible que permite instalar la pluma sobre el eje de la estructura, (ver figura 4.3.3).

**Pie del mástil para izaje
por rotación con la pluma
montada sobre el eje del
mástil.**

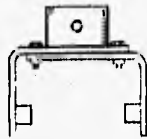


Fig. 4.3.3

4.3.4 Instalación de la pluma para una rotación a partir del eje de la estructura:

La parte de la estructura a levantar es ensamblada y conectada a la fundación como para una rotación ordinaria, salvo que el eje utilizado para conectar la fundación al módulo de la base es mucho mas largo que el utilizado habitualmente. Este eje permite instalar la base giratoria de la pluma de rotación. Cuando este ha sido colocada, la parte inferior de la pluma es insertada.

Por la cabeza de la pluma se pasa el cable de acero de 5/8" y el otro extremo de este cable se ata a la parte superior de la estructura a erezgir. Se fija un estrobo entre la pluma y la estructura, ver figura 4.3.4. Los otros tres tirantes de la pluma son instalados normalmente.

Rotación con la pluma sobre el eje de la estructura

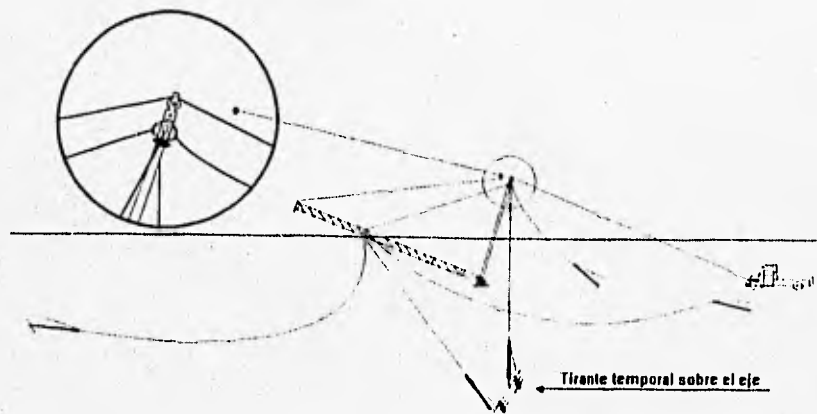


Fig. 4.3.4

Para el caso del mástil serán utilizados 4 tirantes temporales en la parte superior de la estructura y es necesario utilizar los tirantes permanentes de la misma manera que se hizo para la rotación con pluma auxiliar.

4.3.5 Rotación de la estructura :

Considerando que todo el proceso que se ha explicado hasta este momento, ha sido realizado, se procede al levantamiento de la estructura utilizando un equipo de tiro y de esta forma comienza la puesta en posición vertical de la torre. Observando que la pluma de rotación sigue el movimiento de la estructura y conserva su ángulo de 90 grados con ella. Cuando la estructura alcanza una posición mas o menos elevada y que el cable del equipo de tiro esta recto, este sale de la polea y la elevación de la estructura continua.

Una vez que la estructura haya alcanzado la posición deseada, los tirantes permanentes son tensados y los correspondientes temporales son retirados, y a su vez la pluma auxiliar es desmontada de la estructura.

4.3.6 Análisis de esfuerzos producidos en la estructura:

Después de haber conocido el tercer método de levantamiento podemos analizar los esfuerzos que se presentan en todos los componentes de la estructura, para el cual utilizaremos la figura No. 4.3.6.

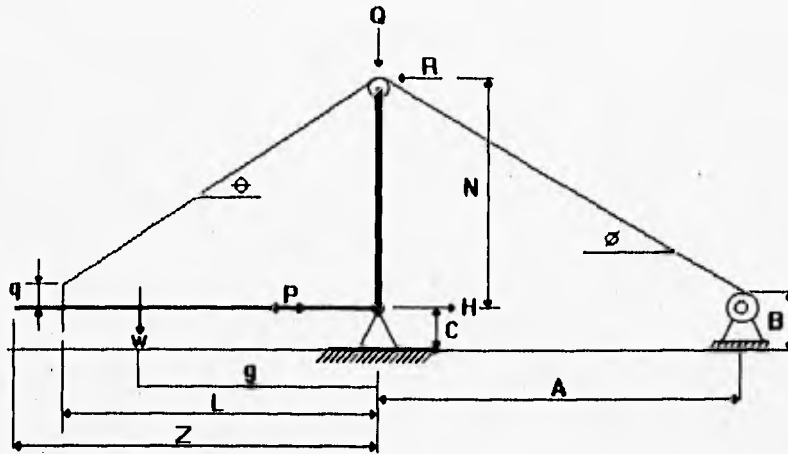


Fig. No. 4.3.6

De la figura No. 4.3.6 podemos deducir lo siguiente :

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{N - q}{L}\right)$$

El ángulo ϕ será igual :

$$\phi = \text{atan}\left(\frac{N + C - B}{A}\right)$$

La tensión en el cable se obtendrá apartir de la ecuación de momento en el origen :

$$\sum M_o = 0$$

$$T \cos \theta (q) + T \sin \theta (L) - Wg = 0$$

$$T = \frac{Wg}{(q \cos \theta + L \sin \theta)}$$

Ahora obtendremos las reacciones en la polea superior de la pluma :

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ \Sigma F_x &= -R + T\cos\theta - T\cos\varnothing\end{aligned}$$

$$R = T\cos\theta - T\cos\varnothing$$

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ \Sigma F_y &= -Q + T\sin\theta + T\sin\varnothing\end{aligned}$$

$$Q = T(\sin\theta + \sin\varnothing)$$

La fuerza cortante en la estructura será igual:

$$V = W - T\sin\theta$$

La Tensión en la estructura "P" se obtiene con la siguiente expresión :

$$\begin{aligned}P &= T\cos\theta \\ H &= P\end{aligned}$$

A continuación analizaremos las ecuaciones, que nos indicarán la magnitud del momento flexionante al que es sometido el mástil durante la rotación, el momento de volteo y el momento de estabilidad en la estructura así como la ubicación del centro de gravedad.

M_L = Momento que se produce en el plano de la platina.
 M_x = Momento Máximo en la parte inferior de la columna.

La ecuación para obtener el momento que se produce en la platina es :

$$M_L = \frac{W}{Z}(Z-l)\left(\frac{Z-l}{2}\right)$$

Por lo tanto:

$$M_L = \frac{W(Z-l)^2}{2Z}$$

Para el cálculo del momento máximo en la parte inferior de la columna se usará la siguiente ecuación :

$$M_x = -\frac{W}{Z}(Z - l + X)\left(\frac{Z - l + X}{2}\right) + T \operatorname{sen} \theta \cdot X + T \operatorname{cos} \theta \cdot q = 0$$

El momento máximo será :

$$M_x = -\frac{W (Z - l + X)^2}{Z \cdot 2} + T \operatorname{sen} \theta \cdot X + T \operatorname{cos} \theta \cdot q = 0$$

La distancia donde se produce el momento máximo es :

$$d \frac{M_x}{dx} = \frac{W}{Z}(Z - l + X) - T \operatorname{sen} \theta = 0$$

$$X = \frac{T \operatorname{sen} \theta}{\frac{W}{Z}} + l - Z$$

En el caso de la revisión de esfuerzos, se procederá de la misma forma que en los temas anteriores referentes a métodos de levantamiento. Los resultados se pueden observar en el Capítulo 5 referente la programa de computadora.

CAPITULO 5

Programa de computadora

Desarrollaremos el siguiente programa de cálculo, por la necesidad de conocer resultados rápidos en campo durante el desarrollo del proceso de montaje de las estructuras modulares. Este cuenta con todas las fórmulas deducidas en el capítulo de los métodos de levantamiento y realiza el cálculo de los elementos mecánicos, la revisión de esfuerzos en pernos y los debidos al efecto de pandeo.

Este programa se realizó en una de las hojas de cálculo más conocidas de la actualidad "EXCEL", se escogió esta, debido a su facilidad de manejo y principalmente por la gran difusión con que cuenta actualmente. En los elementos de programación, se incluyen instrucciones de "VISUAL BASIC" además de utilizar todas las herramientas con que cuenta este paquete. En este programa se analizan 4 casos fundamentales que se presentan en el proceso de montaje :

- 1.- Levantamiento a partir de una posición inicial.
- 2.- Levantamiento utilizando una pluma auxiliar.
- 3.- Levantamiento utilizando un mástil adyacente.
- 4.- Levantamiento utilizando pluma auxiliar, siendo esta colocada sobre el eje del módulo base.

El que se analicen estos 4 casos, no significa que son los únicos, y la implementación de algún sistema novedoso siempre está latente.

5.1.1 Ecuaciones empleadas en la revisión de esfuerzos

Como ya se menciona en el capítulo de los métodos de levantamiento, las expresiones a utilizar son :

- 1.- Ecuaciones de elementos mecánicos (Obtenidas por principios de Estática).
- 2.- $M = P \cdot x$ e (Determinación de la fuerza actuante de tensión en pernos).
- 3.- Fórmula de la secante (Efecto de flexo - compresión en columnas).

En el caso de la fuerza de tensión en pernos, tenemos :

$$P = \frac{M}{e} - P_a$$

Donde :

P = La fuerza de tensión actuante en los pernos.

P_a = La fuerza axial actuante en el mástil.

e = Distancia centroidal entre pernos.

M = Momento total actuante en el mástil.

En el caso del efecto de flexo - compresión, tenemos la fórmula de la secante :

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec\left(\frac{1}{2r} \sqrt{\frac{Pe}{AE''}}\right) \right]$$

Donde :

σ_{\max} = 159 Mpa. equivalente a 1590 kg/cm².

P = Carga axial en el mástil.

$e = \frac{M}{P} + 152$, donde M es el momento total, P es la carga axial en la columna y los 152 mm, son originados por factores ajenos como alineación incorrecta, fallas en las uniones entre módulos, etc.

c = Distancia desde el eje neutro de la sección, a la fibra extrema del lado cóncavo del mástil (305.50 mm.).

r = Es el radio de giro o de inercia de la columna. $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$

I = Momento de inercia de la sección, calculada como :

$$I = I_{xx} + Ad^2$$

$$I = 4(2.22) + 4(2.75)(11.08)^2 = 1359.31 = 565.80 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

L = Longitud libre del mástil.

E'' = Es el módulo de elasticidad reducido por considerar una estructura de celosía (ref. 2 y 3 de la Bibliografía).

$$E'' = E \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{Pe}{Pd}\right)} \right]$$

Donde :

$$E = 700,000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \text{ (módulo de elasticidad del aluminio aleación 6061-T6).}$$

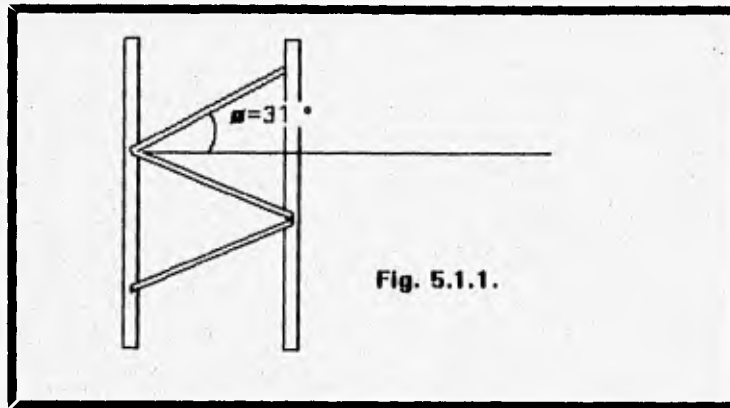
$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

$$P_d = EAd[\text{sen}\phi \cos^2 \phi]$$

Donde :

$$Ad = \text{Area de 2 diagonales} = 10.50 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 31^\circ$$



5.1.2 Método alternativo de levantamiento

Es importante mencionar que en este programa de computadora se analiza un caso más de método de rotación y es el planteado en la figura 5.1.2. Este caso se anexa, ya que mientras sea posible aplicarlo se considera como una buena decisión por la reducción de la tensión en el cable de tiro. Este método se conoce como levantamiento utilizando pluma auxiliar.

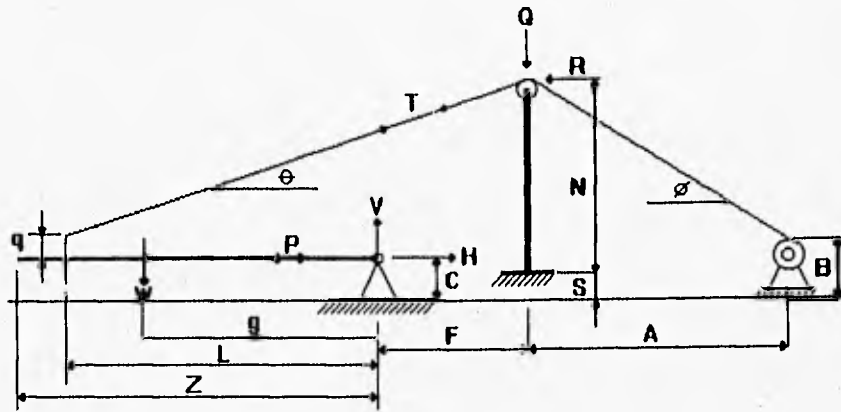


Figura 5.1.2

Las ecuaciones que modelan esta situación, son las siguientes :

$$\theta = \alpha \tan\left(\frac{N + S - C' - q}{L + F}\right)$$

$$\phi = \alpha \tan\left(\frac{N + S - B}{A}\right)$$

$$T = \frac{Wg}{(L \cdot \text{sen} \theta + q \cos \theta)}$$

$$R = T(\cos \theta - \cos \phi)$$

$$Q = T(\text{sen} \theta + \text{sen} \phi)$$

$$P = T \cos \theta$$

$$V = W - T \text{sen} \theta$$

$$H = P$$

$$M_{pluma} = \frac{W(Z - l)^2}{2Z}$$

$$M_{p. inf. col} = \frac{W(Z - l + x)^2}{2} - Tx \sin \theta - Tq \cos \theta$$

$$x = \frac{T \sin \theta}{\left(\frac{W}{Z}\right)} - Z + l.$$

5.1.3 Descripción física del paquete

Este cuenta con 4 archivos (1 para cada método analizado), cada archivo cuenta a su vez con 5 hojas, las cuales son descritas a continuación.

Hoja 1. Acceso de datos.

En esta hoja se tendrán que introducir los datos correspondientes a elevaciones, distancias entre elementos, longitud de mástil y cargas extras que puedan existir.

Hoja 2. Cálculo del centro de gravedad.

Apartir de esta hoja, se presenta el cálculo del centro de gravedad, en función de las condiciones introducidas en la hoja No. 1.

Hoja 3. Condiciones de funcionamiento.

Aquí se muestran los ángulos de inclinación, tensión en el cable de tiro, y en general la magnitud de las fuerzas que están actuando en el proceso.

Hoja 4. Elementos mecánicos.

Se presenta la magnitud de los elementos mecánicos actuantes y su correspondiente representación gráfica para una fácil comprensión del modo en que cada elemento esta ejerciendo su influencia.

La representación gráfica es de suma importancia, ya que en caso de que el mástil no resista las condiciones a las que está siendo sometido, será posible checar si el elemento mecánico puede ser reducido en función del punto exacto donde se requiera conocer su magnitud.

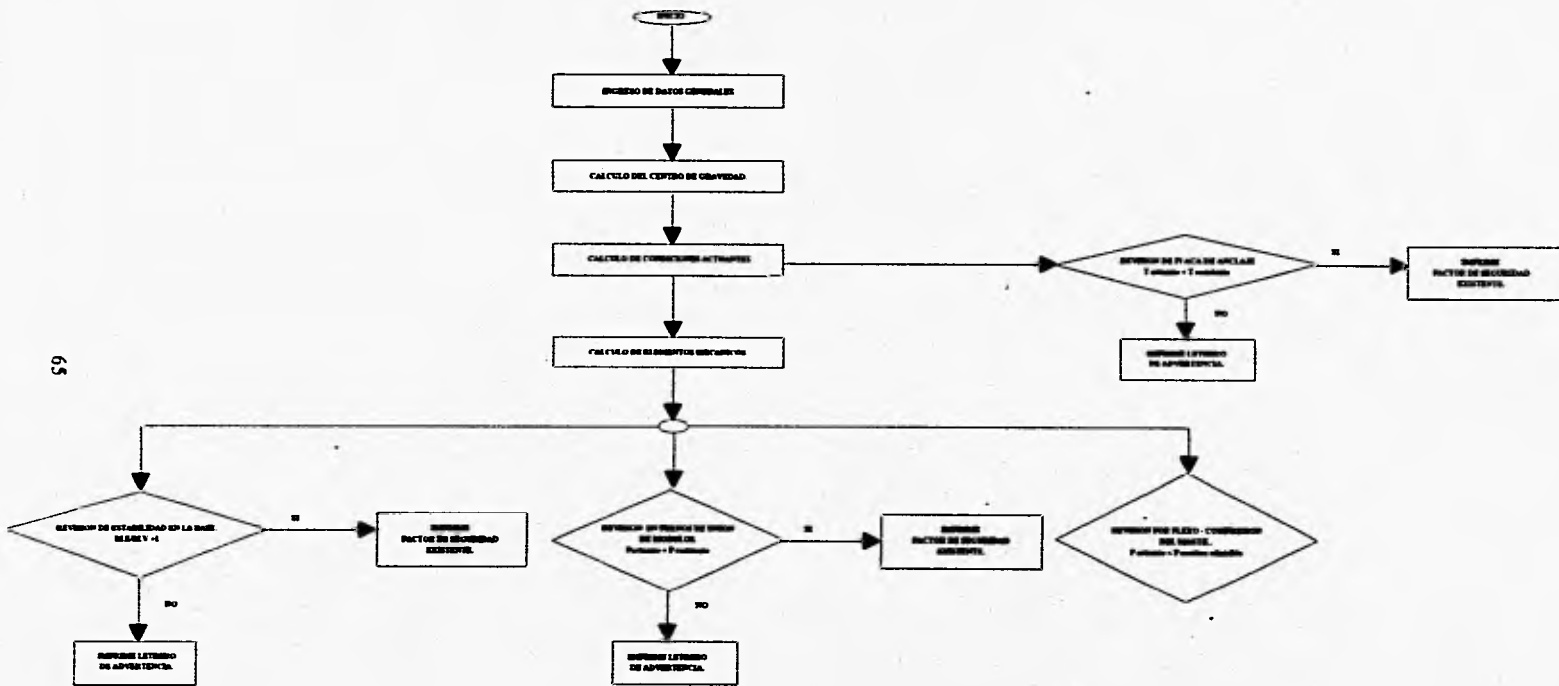
Hoja 5. Resultados.

Esta hoja muestra los resultados del análisis, y se indica si es posible o no llevar a cabo el proceso de montaje, en función del factor de seguridad con que trabaja el elemento analizado. Es claro que si $f_s < 1.0$, el proceso puede llevarse a cabo sin ningún problema.

En aspectos generales, estas son las características del programa y esperamos que sea de utilidad para el propósito que fue creado. A continuación se anexa una copia del programa y el correspondiente diagrama de flujo del mismo.

5.1.4 Programa de computadora

5.1.5 Diagrama de flujo



5.1.6 Ejemplo de aplicación del programa de computadora

DATOS GENERALES

MÓDULOS A UTILIZAR

DESCRIPCIÓN	LONG. [PIES]	LONG. [MTS]	PESO [KG]
MODULO BASE	5.6	1.7	113.0
MODULO 7'	7.0	2.1	170.0
MODULO 14'	14.0	4.3	250.0
MODULO 14'	14.0	4.3	250.0
MODULO 14'	14.0	4.3	250.0
MODULO 21'	21.0	6.4	322.0
MODULO 21'	21.0	6.4	322.0
MODULO 21'	21.0	6.4	322.0
SECCIÓN DE CAJA	1.5	0.5	115.0
PLACA DE ANCLAJE	0.0	0.0	30.0
TOTAL =	119.1	36.3	2144.0
[REDACTED] Datos necesarios de ingresar.		36.3	2.1440

DATOS GENERALES (CONTINUACION):	
Z = Longitud de la columna [mts].	36.30
W = Peso de la columna [ton.].	2.14
L = Distancia del eje al plano de conexión [mts].	30.00
y = Altura de la base del mástil a la conexión [mts].	5.00
A = Distancia del mástil al equipo de tiro [mts].	125
B = Altura del equipo de tiro [mts].	0.5

CONSTANTES GEOMETRICAS		
	[ft]	[m]
C (Altura de la parte fija M.B.)	2.17	0.7
D (Distancia del eje al extremo de la base)	2.50	0.8
q (Distancia del eje del mástil al extremo de la P.A.)	1.54	0.5

DETERMINACION DE ESFUERZOS EN EL PROCESO DE LEVANTAMIENTO

LEVANTAMIENTO A PARTIR DE UNA POSICION INICIAL

CALCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD C.G.

DESCRIPCION	LONG. [PIES]	LONG. [MTS]	PESO [KG]	POSICION [MTS]	MOM. [KG-MTS]
MODULO BASE	5.6	1.7	113.0	0.85	96.44
MODULO 7'	7.0	2.1	170.0	2.77	471.53
MODULO 14'	14.0	4.3	250.0	5.97	1,493.52
MODULO 14'	14.0	4.3	250.0	10.24	2,560.32
MODULO 14'	14.0	4.3	250.0	14.51	3,627.12
MODULO 21'	21.0	6.4	322.0	19.84	6,389.28
MODULO 21'	21.0	6.4	322.0	26.24	8,450.34
MODULO 21'	21.0	6.4	322.0	32.64	10,511.39
SECCIÓN DE CAJA	1.5	0.5	115.0	36.07	4,148.39
PLACA DE ANCLAJE	0.0	0.0	30.0	36.30	1,089.04
SUMATORIA =		36.3	2,144		38,837
UBICACION DEL CENTRO DE GRAVEDAD [MTS] =					18.114 [mts]

g = Ubicación del centro de gravedad.

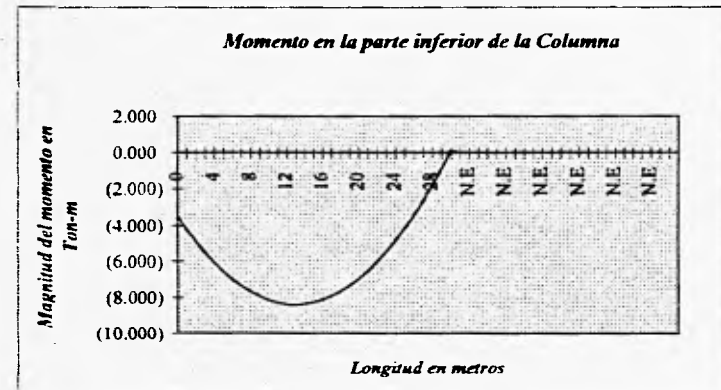
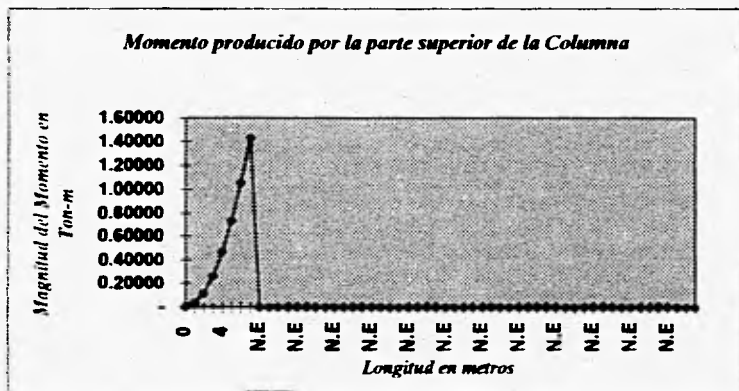
18.114 mts.

CONDICIONES ACTUANTES

a	ANGULO ALFA [GRADOS]	8.315		
t	ANGULO TETA [GRADOS]	1.839		
T	CARGA EN EL CABLE DE TIRO (TON)	9.980	F.S. PLATINA =	1.36
P	CARGA AXIAL EN LA COLUMNA (TON)	10.226		
H	ESFUERZO DE CORTE EN LA ROTULA (TON)	9.975		
V	CARGA VERTICAL SOBRE LA ROTULA (TON)	2.464		

ELEMENTOS MECANICOS		
Wprom.	PESO LINEAL PROMEDIO [TON/MT]	0.06
MOM1	MOM. EN COL. AL PLANO DE CONEXION [TON-MT]	1.16
x	POS. DE MOM. MAXIMO PARTE INFER. [MTS]	13.0
MOM2	MOM. EN PARTE INFER. DE LA COLUMNA [TON-MT]	(8.4091)

REPRESENTACION GRAFICA DE ELEMENTOS MECANICOS



RESULTADOS

MEDIDAS PREVENTIVAS

M MOMENTO ESTABILIDAD / MOMENTO VOLTEO

F.S. = 0.2846

USAR RETENIDAS

T TENSION EN PERNO 5/8 GRADO 5

F.S. = 1.8569

CORRECTO

F.S. FACTOR DE SEGURIDAD EN FLEJO - COMPRESION.

P actuante= 10.22639 ton
debe ser menor ó igual que "P resistente"

Calculo de la carga máxima, por medio de la formula de la secante.

P resistente	P/A	TERM. 2	DIF.
1	140.905	3291.080457	3150.17585
2	281.809	3214.211809	2932.402594
3	422.714	3137.155155	2714.441332
4	563.618	3059.916391	2496.297961
5	704.523	2982.501534	2277.978496
6	845.428	2904.916721	2059.489076
7	986.332	2827.168212	1840.835959
8	1127.237	2749.262386	1622.025526
9	1268.141	2671.205745	1403.064276
10	1409.046	2593.004907	1183.958831
11	1549.951	2514.666614	964.7159302
12	1690.855	2436.197725	745.3424343
13	1831.760	2357.605221	525.8453221
14	1972.665	2278.896197	306.2316912
15	2113.569	2200.077871	86.50875691
16	2254.474	2121.157573	-133.3161484

CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD REDUCIDO, POR CONSIDERAR UNA ESTRUCTURA DE CELOSIA.

Pc = 43.4328391
 Pd = 2781.364233
 E = 7,000.000 TON/M2
 I (momento de inercia) = 0.0005658 M4
 FI = 0.541052068

E* = 6,892.371 TON/M2

CAPITULO 6

Análisis Beneficio vs Costo

6.1.1 Antecedentes

Es importante tener en mente que los proyectos deben considerarse con dos propósitos fundamentales, aquellos que tengan una clara recuperación monetaria que puedan desarrollarse con fondos privados y los que tengan objetivos fundamentalmente sociales no monetarios en los que el gobierno continuara invirtiendo. Atendiendo a esto podemos darnos cuenta que el proyecto de inversión que nos ocupa queda enmarcado en la segunda clasificación de los propósitos, pero no por este motivo se va invertir sin tomar en cuenta aspectos de planeación, ya que la ingeniería óptima significa que los proyectos, productos y la planificación de los mismos sean enfocados de tal manera que resulten económicos.

Hoy en día costear proyectos se torna un reto debido a la necesidad de promover nuevos esquemas financieros. La condición básica para ello, es que exista una economía estable y que el proyecto sea rentable.

Actualmente el desarrollo de México demanda en materia de potencia eléctrica instalada un crecimiento anual del 5 %, con lo cual es fácil comprobar la importancia de tener un sistema de transmisión eficiente y que responda a las exigencias actuales. De esto que se haya pensado en la aplicación de la tecnología de las estructuras modulares de emergencia.

6.1.2 Propósitos del análisis

- a) Determinar en aspectos generales, si la relación Beneficio vs Costo es mayor a uno.*
- b) Comparar los costos de manufactura de las torres entre los proveedores extranjeros y los correspondientes Mexicanos.*

6.1.3 Análisis

Es importante señalar que los costos que se mencionan a continuación, están actualizados a julio de 1994.

La inversión por estructura esta valuada en NS 100,000.00, se considera una estructura a todos los módulos que conforman la configuración tipo CHAINETTE. Actualmente la C.F.E cuenta con un total de 34 estructuras, las cuales se encuentran distribuidas en el territorio nacional de acuerdo a la tabla No. 6.2.

PERIODOS DE COMPRA E INVERSION

<i>No. de estructuras</i>	<i>Inversión (NS)</i>	<i>Periodo de adquisición</i>
10	1,000,000.00	Mayo 1992.
14	1,400,000.00	Abril 1993.
10	1,000,000.00	Julio 1994.
TOTAL	3,400,000.00	

Tabla 6.1

DISTRIBUCION DE ESTRUCTURAS MODULARES EN LOS CENTROS DE REPARACION.

CENTRO DE REPARACION	NUMERO DE ESTRUCTURAS
ALTAMIRA	1
CARAPAN	1
CHICOASEN	1
DONATO GUERRA	4
ESCARCEGA	2
ESCOBEDO	2
HERMOSILLO	3
HUETAMO	4
INFIERNILLO	4
IRAPUATO	0
JUILE	2
MANZANILLO	2
MINATITLAN	2
OJO DE AGUA	1
POZA RICA	0
PUEBLA	0
SANTA CRUZ	1
TECALI	0
TEMASCAL	1
TOPILEJO	0
TORREON SUR	2
TULA	0
VICTORIA	1
XICOTEPEC	0
TOTAL	34

Tabla 6.2

Los periodos de adquisición, la inversión aproximada y el número de estructuras se presentan en la tabla No. 6.1.

Ahora, indicaremos los beneficios que se esperan obtener mediante el uso de las estructuras modulares:

- 1) La breve interrupción de la energía eléctrica, permitirá que las actividades productivas de la población no se vean afectadas.*
- 2) Gracias al tiempo de montaje cercano a un día, se permite planear y construir la torre permanente con una mayor calidad y a menor costo.*
- 3) El suministro de energía a la población, se sigue cobrando.*
- 4) El material con que están construidas las torres aluminio aleación 6061- T6, no requiere prácticamente ningún tipo de mantenimiento.*

Por otra parte, los costos que se producen son:

- 1) Las torres de aluminio tienen un alto costo inicial, N\$ 100,000.00 vs N\$ 33,000.00 correspondientes a las estructuras normales permanentes.*
- 2) El tiempo promedio de montaje de una estructura permanente, es de 2.5 meses.*

Tomando en cuenta estos puntos, es fácil observar que la relación beneficio vs costo cumple con la condición de ser mayor a uno, lo cual nos indica que vale la pena invertir en este proyecto.

Se hace notar en este momento que es posible desarrollar esta tecnología en México, ya que los costos de manufactura podrían ser reducidos y los nuevos diseños tendrían una mayor compatibilidad con las características del territorio nacional. Para darnos una idea más clara de esta situación, se indican los costos por kilogramo tanto de los proveedores así como los correspondientes de nacionales.

Los proveedores extranjeros están cotizando a N\$ 26.42 / kg. , en el cual la adquisición está afectando aproximadamente un 60 % de dicho importe, siendo el 30 % restante de mano de obra y utilidad.

Para el caso de la producción en México, se ha llegado a concluir que el costo / kg. podría reducirse en un 20 %, es decir que el costo aproximado sería del orden de N\$ 80,000.00

por estructura. Esta reducción esta basada principalmente en las deductivas en el costo de la mano de obra y la utilidad.

En conclusión, podemos decir que el costo o valor total de cada alternativa analizada esta dado por :

$$\text{Valor total} = - \text{Costo de compra} - \text{Costo de Mantenimiento} - \text{Costo de operación} + \text{Ganancias.}$$

En el caso del costo de mantenimiento podemos considerarlo despreciable debido a las características del material, el costo de operación así como las ganancias son las mismas para las dos alternativas, por lo cual lo realmente significativo es el costo de compra.

Una vez determinada esta conclusión de costos, se mencionan algunos puntos importantes que se quieren resaltar.

En estos últimos meses la inflación en el país se ha acrecentado de una forma muy rápida, ocasionando que el poder de compra disminuya, existan graves divergencias entre flujos de efectivo y que los rendimientos reales de una inversión no correspondan a lo esperado. Además que la inflación actual es considerada como general, es decir que todos los costos y precios se incrementan en la misma proporción sin importar el sector económico involucrado.

En una época inflacionaria se tienen que considerar factores para la evaluación de un proyecto tales como:

- a) El riesgo que representa el proyecto.*
- b) La disponibilidad de dinero de la empresa.*
- c) La tasa de inflación prevaleciente en la economía nacional.*

Basándose en estos factores se ha llegado a la conclusión, que en este momento de crisis económica no conviene realizar ninguna inversión de este tipo ya que no es primordial dentro de C.F.E. Para ejemplificar el aumento en el costo y la total incoherencia de los precios, diremos que el aluminio aleación 6061-T6 cotizado a Mayo de 1995 en la Ciudad de México cuesta 370.00 USD / kg.

Con este costo, el valor de cada estructura se ha visto incrementado exponencialmente lo cual nos obliga a esperar que la situación económica se estabilice para poder emitir un juicio en relación a la manufactura de las torres en el país ó su adquisición en el extranjero.

Finalmente se quiere mencionar, que el uso de otro material para la fabricación de los módulos, por ejemplo el acero, debe de estudiarse con mas detalle ya que los costos serian reducidos notablemente a pesar de su mayor peso, baja resistencia a la corrosión e incremento de costo en el proceso de montaje.

Comentarios, Mejoras y Conclusiones

Comentarios

Se pudo observar que C.F.E., al impartir cursos de capacitación sobre el tema correspondiente a las estructuras de emergencia, no envía suficientes ingenieros civiles a tomar parte de esta capacitación, por lo cual el personal asistente que esta especializado en el sector eléctrico, difícilmente comprende temas que se desarrollan, como el análisis estructural de las torres.

Además, se detecto ma falla a nivel operativo y esta radica en la forma equivocada en que son manejadas las estructuras de aluminio, ya que se utilizan cadenas de acero para su transporte, estando estas sin la mínima protección para el manejo de los módulos.

Por otra parte, la C.F.E., nos brindo todas las facilidades, para obtener información respecto a este tema y sobre todo contamos con el apoyo de la Gerencia de Trasmisión Nacional, la cual permitio desarrollar este trabajo de una forma fácil y sencilla.

Se puede observar que la Ingeniería Civil en nuestro país esta a la altura de países desarrollados como Estados Unidos y Canadá, por lo cual sería conveniente que empresas nacionales tan importantes como lo es la C.F.E., tomarán en cuenta que en México se pueden desarrollar y construir sus proyectos con alta calidad y eficiencia, cubiertos por Ingenieros Civiles Mexicanos, sin tener la necesidad de contratar a empresas extranjeras, las cuales impiden a los Ingenieros Mexicanos demostrar su capacidad.

Mejoras

Las mejoras que se consideran necesarias, son las siguientes :

1) Debe contarse con una placa base de mayores dimensiones, ya que en México, principalmente en la zona sur del país, existen suelos de muy baja capacidad de carga y en algún momento se puede suscitar una penetración del mástil en el suelo.

2) En relación con el caso de los anclajes, debe de contarse con un estudio mas detallado respecto a ellos. Esto se indica, ya que se comprobó que en la práctica no existe una gama de opciones, los cuales se puedan aplicar a los distintos tipos de suelo que pueden encontrarse. Se ha incluido un pequeño estudio en relación a anclajes, el cual puede tomarse como base, pero aun así es necesario ahondar mas en este tema tan importante.

3) Debe de contarse con un departamento de Ingeniería Civil dentro del área de líneas de transmisión en C.F.E., el cual se encargue de la coordinación, futura capacitación del personal y mejoramiento de los procesos de montaje de las estructuras modulares.

4) En el caso de la importación de estructuras de emergencia, es posible fabricar este tipo de torres modulares en nuestro propio país, ya que contamos con la capacidad y tecnología suficientes, así como materiales (aluminio), lo cual permitiría una mejor administración de los recursos de México.

Conclusiones.

En el desarrollo del presente trabajo, se observa las distintas aplicaciones que tiene la Ingeniería Civil aun dentro de áreas que se pensaban totalmente ajenas, tal es el caso del ámbito eléctrico. Los métodos de levantamiento de las torres, brindan una idea de los actuales sistemas de montaje de líneas de alta tensión y sientan las bases para futuras aplicaciones en otras áreas así como el desarrollo de nuevos sistemas.

Es importante resaltar la aplicación práctica de principios de estática y teoría de columnas, lo cual muestra que un proceso de montaje no puede considerarse como algo mecanizado y preestablecido.

Otro aspecto que se considera útil, es el que corresponde a la detección de fallas en la aplicación de esta tecnología, no solamente a nivel operativo sino también a nivel de dirección y control, esta oportuna detección de fallas permitirá aplicar las medidas correctivas necesarias.

En general, todo lo planteado en este trabajo representa una aplicación práctica de la ingeniería a un problema actual y de vital importancia para México, por lo cual el presente es un útil documento de consulta y guía para alguna futura modificación al proyecto, así como plantear la idea de fabricar estas estructuras en nuestro país, con una concepción mas clara de las características y necesidades existentes.

Finalmente queremos mencionar que los Ingenieros Civiles tienen un enorme campo por abarcar en el área eléctrica, este trabajo radica en diseño de nuevos sistemas, mejoramiento de los existentes, determinar la mejor distribución de las estructuras dentro del territorio nacional y en general todo lo relacionado con diseño, construcción, planeación y control. Es por este motivo, que se propone una mayor participación de ingenieros civiles dentro del área de transmisión, para de esta forma lograr en cooperación con sus colegas eléctricos, el perfeccionamiento de esta y futuras aplicaciones técnicas, siendo esto no solamente pensando a nivel de empresa sino con la idea de conseguir cada día un México mas fuerte en base a contar con una infraestructura a la altura de los países desarrollados.

Anexos

Anexo a)

Para lograr desarrollar este trabajo, fue necesario consultar reportes de laboratorio en los cuales se indicaban las características de resistencia de los elementos probados, estos valores se encuentran expresados en base al Sistema Internacional de Unidades, pero considerando la gran utilización del Sistema Métrico, consideramos conveniente recordar la relación entre estos :

$$1 \text{ kgf} = 9.8066 \text{ N}$$

Pero a fin de facilitar la comprensión de la equivalencia, es conveniente considerar que :

$$1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$$

En base a esto, se llega a las siguientes equivalencias que indican la relación entre los sistemas.

$$1 \text{ KN} = 100 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ Mpa} = 10 \text{ Kgf/cm}^2$$

Anexo b)

Es importante señalar, que cada componente de las estructuras modulares es probado en laboratorio según la guía para el diseño y prueba de los componentes de las estructuras modulares de restauración de transmisión, aprobado por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers.) y la ANSI (American National Standards Institute).

Lo anterior se menciona para su consulta, en caso de requerirse la comprobación de algún dato de resistencia.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- S.P. Timoshenko y James M. Gere
Mecánica de Materiales
Unión Topográfica
Editorial Hispano Americana S.A. de C.V.
- 2.- S.P. Timoshenko and J.M. Gere
Theory of Elastic Stability
McGraw-Hill 1961
- 3.- R.J. Roark
Formulas for Stress and Strain
McGraw-Hill 1965
- 4.- Edwin H. Gaylord Jr., Charles N. Gaylord
Diseño de Estructuras de Acero
Editorial C.E.C.S.A.
- 5.- PRINEX
Procedimientos Constructivos de la Línea de Demostración
Projects Integrales AL' Exportation 1994.
- 6.- *Análisis y Evaluación de proyectos de inversión*
Rail Coss Bu
Editorial Limusa
- 7.- *Topografía Aplicada*
Ing. Fernando García Márquez
Editorial Concepto
- 8.- *Geotecnia y Cimientos III*
José Antonio Jiménez Salas
Editorial Rueda

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA