

49
29,



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

REVISION AL ANALISIS Y DISEÑO DE LA TORRE
4EA2 PARA LA LINEA DE TRANSMISION
ESCARCEGA POTENCIA TICUL (L-2)

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

LORENZO LEON CHAVEZ

L



ASESOR: ING. JORGE GONZALEZ RAMIREZ

258151

MEXICO, D. F.

ENERO 1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-144/96

Señor
LORENZO LEON CHAVEZ
Presente.

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

**"REVISION AL ANALISIS Y DISEÑO DE LA TORRE 4EA2 PARA LA LINEA DE TRANSMISION
ESCARCEGA POTENCIA TICUL (L-2)"**

- I. **INTRODUCCION**
- II. **DISEÑO ELECTROMECHANICO**
- III. **CALCULO DE SOLICITACIONES CONSIDERADAS EN EL ANALISIS**
- IV. **GENERACION DEL MODELO Y ANALISIS EN EL PROGRAMA TOMAD**
- V. **OTROS ASPECTOS DE LA INGENIERIA CIVIL**
- VI. **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**
- VII. **TABLAS**
- VIII. **REFERENCIAS**

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 25 de noviembre de 1996.
EL DIRECTOR

ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLÍS

JMCS/GMP*lmf

*A mis padres por su cariño,
dedicación y sacrificios, por guiarme y
brindarme su apoyo incondicional.*

*A mi esposa que con su amor y
comprensión me ha dado un gran apoyo
incondicional.*

*A mis hijos que con su amor y alegría
me han alentado a superarme cada día.*

*A mi hermana que fue un ejemplo,
espero que este sea un ejemplo para mi
hermano.*

*A mis compañeros de la facultad por
su amistad y compañerismo, por estar
cuando los he necesitado.*

A los profesores de la Facultad de Ingeniería que influyeron en mi formación moral y profesional.

Al Ing. Jorge González por brindarme su apoyo para la realización de esta tesis, haciendome ver lo importante de los detalles.

Al Ing. Rolando Vázquez y a mis compañeros de CFE que me han brindado su amistad y apoyo profesional.

Gracias a todos los que creen en mi.

REVISIÓN AL ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA TORRE 4EA2 PARA LA LINEA DE TRANSMISIÓN ESCÁRCEGA POTENCIA - TÍCUL (L-2)

INDICE

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS	1
CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE 4EA2	2
CODIFICACIÓN DEL NOMBRE DE LA ESTRUCTURA	3
IDENTIFICACIÓN Y USO DE UNA ESTRUCTURA	4
DETERMINACIÓN DEL CMH Y CV	5
NIVELES Y EXTENSIONES	6
I.- DISEÑO ELECTROMECAÁNICO	
INGENIERÍA BÁSICA	8
I.1 ELECTROMECAÁNICO	9
I.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DIMENSIONAMIENTO	9
I.2.1 DATOS BÁSICOS DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN	10
I.2.1.1 INFORMACIÓN BÁSICA	10
I.2.2 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO Y BLINDAJE	11
I.2.3 SELECCIÓN Y USO MECÁNICO DE TORRES	12
I.2.4 CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES	12
I.2.5 CAPACIDAD MECÁNICA DE AISLADORES Y HERRAJES	13
I.2.6 DISTANCIA ENTRE FASES	13
II.- CÁLCULO DE SOLICITACIONES CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS	14
II.1 INTRODUCCIÓN	14
II.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS SOLICITACIONES (FUERZAS)	14
II.1.2 NOMENCLATURA DE LAS SOLICITACIONES	16
II.2 VARIABLES A CONSIDERAR PARA EL CÁLCULO DE LAS SOLICITACIONES	17
II.2.1 FUERZAS VERTICALES (TIPO A Y B)	17
II.2.2 FUERZAS TRANSVERSALES (TIPO C Y D)	18

II.2.3	FUERZAS LONGITUDINALES (TIPO F)	19
II.3	PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE PRESIONES	20
II.3.1	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD REGIONAL V_R	20
II.3.2	DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO V_D	20
II.3.3	PRESIÓN DINÁMICA DE BASE q_z	25
II.3.4	PRESIÓN ACTUANTE SOBRE UNA ESTRUCTURA	26
II.4	CÁLCULO DE LAS PRESIONES DE VIENTO SOBRE CABLES Y LA ESTRUCTURA 4EA2	27
II.4.1	TABLA DE PRESIONES PARA EL DISEÑO DE LA TORRE 4EA2	29
II.4.2	CÁLCULO DE FACTOR DE REDUCCIÓN DEL VIENTO EN CABLES	29
II.5	FACTORES EN LA TENSIÓN MECÁNICA DE LOS CABLES	30
II.6	COMBINACIÓN DE CARGAS	30
II.6.1	CONDICIONES DE CARGAS	31
II.7	DATOS PARA EL CÁLCULO DE SOLICITACIONES	33
II.8	CÁLCULO DE LAS SOLICITACIONES PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO	34
III-	GENERACIÓN DEL MODELO EN LA COMPUTADORA	
III.1	INTRODUCCIÓN	47
III.2	PROCESO PARA LA GENERACIÓN DEL MODELO	48
III.2.1	DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA	48
III.2.2	CÁLCULO DE COORDENADAS DE LOS NODOS	48
III.2.3	GENERACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y DEFINICIÓN DE LOS GRUPOS	48
III.2.4	CÁLCULO DE ÁREAS TRIBUTARIAS DEBIDO A LA ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA	49
III.2.5	PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS	52
III.2.6	PARÁMETROS PARA DISEÑO	53
III.3	ANÁLISIS	57
III.3.1	RESULTADOS DEL ANÁLISIS	57
III.4	DISEÑO	59
III.4.1	RESULTADOS DEL DISEÑO	60

IV.- OTROS ASPECTOS DE LA INGENIERÍA CIVIL	
IV.1 CIMENTACIONES	66
IV.1.1 ALTERNATIVAS DE CIMENTACIÓN	66
IV.1.2 CIMENTACIONES ESPECIALES	67
IV.2 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y DE MECÁNICA DE SUELOS	67
IV.2.1 EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS	68
IV.2.2 PRUEBAS DE LABORATORIO	68
IV.2.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES	69
IV.3 DESCRIPCIÓN DE LA LINEA	70
IV.4 TRABAJOS DE CAMPO	70
IV.4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO	71
IV.5 TRABAJOS DE LABORATORIO	73
IV.6 ALTERNATIVAS DE CIMENTACIÓN PARA LA LINEA	76
IV.6.1 CIMENTACIÓN ANCLADA EN ROCA	76
IV.6.1.1 ESPECIFICACIÓN PARA LA PRUEBA DEL SISTEMA DE ANCLAJE	78
IV.6.2 CIMENTACIÓN A BASE DE ZAPATAS	81
IV.6.2.1 RECOMENDACIONES GENERALES	82
IV.7 DISEÑO DE UNA ZAPATA PARA EL PROTOTIPO	83
IV.7.1 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO	83
IV.7.2 REVISIÓN A LA ESTABILIDAD	83
IV.7.3 DATOS PARA EL CALCULO DE LA ZAPATA	85
IV.7.4 PROCEDIMIENTO PARA DIMENSIONAR LA ZAPATA	86
IV.7.5 DISEÑO ESTRUCTURAL	91
IV.7.6 DISEÑO DE LOS STUBS	95
V.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES	98
V.1 RESULTADOS	98
V.2 CONCLUSIONES	101
REFERENCIAS	103

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

De acuerdo con la política de los últimos años en Comisión Federal de Electricidad (CFE), la ingeniería, la construcción, el suministro de materiales y equipos de las obras que aquí se realizan, se han contratado con compañías ajenas a su estructura interna, por lo que el trabajo de la empresa esta enfocado a la revisión y supervisión de los proyectos, con el fin de que estos cumplan con los requerimientos técnicos-económicos que se solicitan.

En este marco de referencia, el presente trabajo consiste en revisar la propuesta del diseño estructural de una torre prototipo 4EA2 para la Línea de Transmisión (L.T.) Escárcega Potencia - Ticul (L-2).

Estas estructuras representan un porcentaje muy alto en el costo de la construcción de la Línea ya que son el soporte de los cables de guarda que protegen a la Líneas de Transmisión contra descargas atmosféricas y de los cables conductores que transportan grandes cantidades de energía desde el lugar de producción a los centros de distribución (Subestaciones).

En ésta revisión se comprueba que el diseño del prototipo se apege a las especificaciones, soporte las solicitaciones impuestas como son el peso de los accesorios y herrajes, el empuje del viento y la tensión de los cables, que cumpla con el dimensionamiento eléctrico proporcionados por CFE, y que la distribución y dimensionamiento de los elementos estructurales, resistan los esfuerzos a que estará sometido y conserve la estabilidad necesaria durante la vida útil de la L. T. dentro de los parámetros de seguridad y economía establecidos por CFE.

No obstante de esta detallada revisión teórica, las torres para las L. T. son tan importantes que es necesaria su prueba a escala 1:1 para verificar el diseño de los elementos y la ingeniería de detalle (conexiones).

CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE 4EA2

Las torres, constituyen el soporte mecánico de las L. T. y económicamente representan la mayor inversión. En México éstas se construyen principalmente de acero, también se utilizan postes de acero, postes de madera o postes de concreto, en algunos casos se construyen líneas mixtas que son una combinación de estos tipos de estructuras.

Los tipos de torre según la siguiente clasificación pueden ser de:

- Suspensión
- Tensión
- Remate
- Transposición

La torre 4EA2 es del tipo de suspensión

Las estructuras autoportadas son las más empleadas en las Líneas de Alta Tensión. Su nombre se debe a que, mecánicamente no requiere de ningún apoyo adicional para trabajar con elementos sujetos a tensión y compresión debidos a cargas por peso de los cables de guarda y cables conductores, peso de los aisladores y herrajes, peso adicional por acumulación de hielo (sí existe) y la acción de otros agentes externos como: la presión del viento, tensionado de los cables y maniobras de montaje de los cables, herrajes y accesorios.

En la construcción de una L. T. la gran mayoría de las estructuras utilizadas son de suspensión éstas se instalan entre dos torres de tensión con la finalidad de suspender a los cable en un tramo de la L. T. llamado tangente. Las estructuras de tensión son menos utilizadas y se emplean para el cambio de dirección de la Líneas de Transmisión, cruzamientos con ríos, carreteras, ferrocarriles, etc. y en zonas con grandes desniveles. Las estructuras de remate se utilizan en la salida y llegada de las Subestaciones. Las estructuras de transposición parten del diseño de una estructura de suspensión y se aplican para realizar el cambio de posición de los cables conductores con el fin de equilibrar el efecto de la reactancia, su uso depende básicamente de la longitud de la línea.

CODIFICACIÓN DEL NOMBRE DE LA ESTRUCTURA

En CFE se ha normalizado la codificación y para el caso de la torre 4EA2 se tiene:

- a) El primer carácter "numérico" indica la tensión eléctrica a la cual opera la línea, se tiene 4 por que la L.T. es de 400 kV.

Nº	TENSIÓN (kV)
4	400
2	230
1	115

- b) El segundo carácter alfabético pertenece al nombre de la línea, en este caso "E" de Escárcega.
- c) El tercer carácter alfabético indica el uso de la torre de acuerdo a la siguiente:

- A - Para estructuras de suspensión con claros cortos (que es el caso que se analizó).
- B - Para estructuras de suspensión con claros largos.
- X - Para estructuras con deflexiones medias hasta 45° .
- Y - Para estructuras con deflexiones grandes hasta 90° .
- R - Para estructuras con remate.
- T - Para estructuras de transposición.

d) El cuarto carácter numérico indica el número de circuitos que debe soportar la estructura.

- 1 ---- Un circuito
- 2 ---- Dos circuitos
- 3 ---- Tres circuitos
- n ---- "n" circuitos

IDENTIFICACIÓN Y USO DE UNA ESTRUCTURA

La identificación completa de una estructura es de la siguiente forma:

TIPO / DEF / CMH / CV

TIPO: Referido al código de la estructura, tensión de operación, uso de la estructura y número de circuitos.

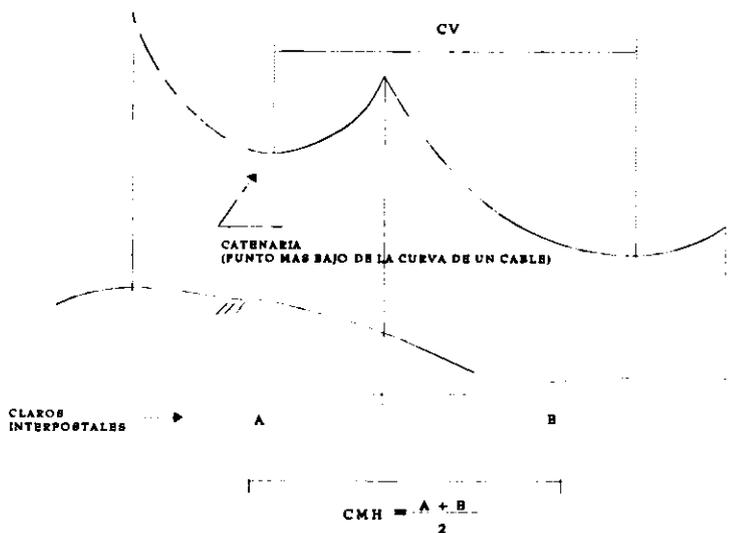
DEF: Indica el ángulo máximo de deflexión (en grados) que puede soportar en el cambio de dirección de la línea.

CMH: Claro Medio Horizontal (en metros), se utiliza esta distancia para considerar el empuje del viento sobre los cables.

CV: Claro Vertical (en metros), o llamado Claro Peso esta distancia es considerada para calcular el peso del cable.

La torre 4EA2 tiene un uso que es de 0°/450/650, es decir, que se tienen ciertos límites y éstos son los siguientes; deflexión con 0° (debido que es de suspensión), claro medio horizontal de 450 m y claro vertical de 650 m .

DETERMINACIÓN DEL CMH Y CV



CV: ES LA DISTANCIA ENTRE DOS CATENARIAS ADYACENTES.
CMH: ES LA SEMISUMA DE CLAROS ADYACENTES A UNA TORRE
PARA EL PROTOTIPO: CV ≤ 650 m CMH ≤ 450 m

NIVELES Y EXTENSIONES

En la localización de las estructuras sobre el perfil de la L.T. se requiere de estructuras con diferentes niveles de altura para poder dar un libramiento de los cables sobre el perfil del terreno, se entiende por libramiento la distancia mínima permitida por especificación de CFE del cable conductor más bajo respecto al nivel del terreno, las patas de extensión dependen de la topografía del terreno donde se desplanta cada estructura para lo cual una vez localizada la estructura se obtiene en campo un perfil en cruz del terreno, con el fin de determinar el tipo de pata de extensión.

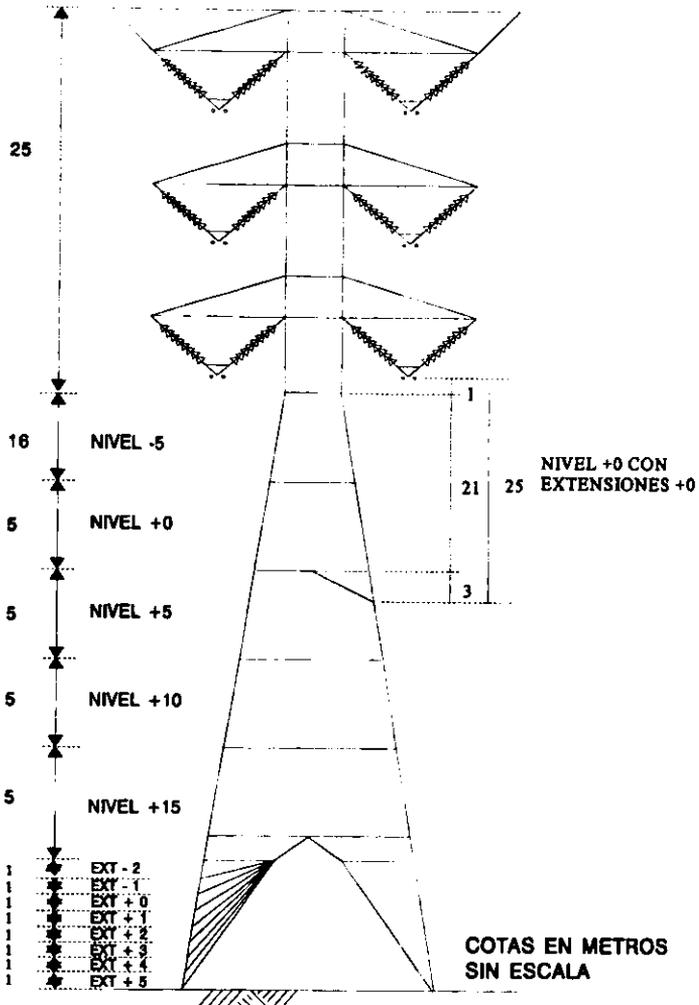
Con la finalidad de tener un montaje más fácil de las estructuras, el diseño debe ser modulado para los niveles -5, +0, +5, +10 y +15, los módulos de +0 a +15 deben tener 5 m de altura, y el -5 m tendrá la altura necesaria para que al conformar un nivel +0 con extensiones +0 se tenga una altura de 25 m requeridos en el Diseño Electromecánico (ver el dibujo de niveles y extensiones).

CFE define el nivel +0 con la altura determinada en la Ingeniería Básica, por lo que a un nivel de menor altura se le asigna un signo menos con un número consecutivo ascendente (-5) y si la altura del nivel es mayor se asigna el signo mas con un número consecutivo ascendente (+5, +10, y +15), (ver el dibujo Ingeniería Básica).

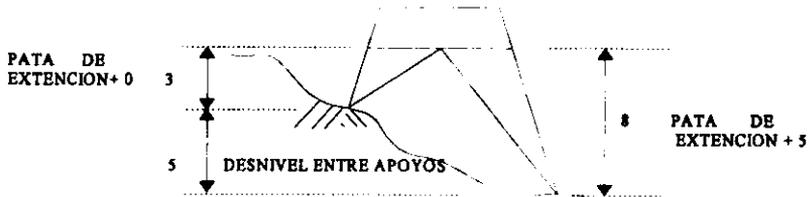
Para absorber los desniveles del terreno de desplante se diseñan patas de extensión de -2 m hasta +5 m, partiendo del nivel -2 que tiene una altura de 1 m (ver el siguiente dibujo).

CFE constituye el nivel +0 con 3 m de altura, por lo que una extensión con menor altura se le asigna un signo menos con un número consecutivo ascendente (-1 y -2) y si la altura es mayor se asigna el signo mas con un número consecutivo ascendente (+1, +2, +3, +4 y +5), (ver dibujo de Ingeniería Básica).

TORRE 4EA2, NIVELES Y EXTENSIONES

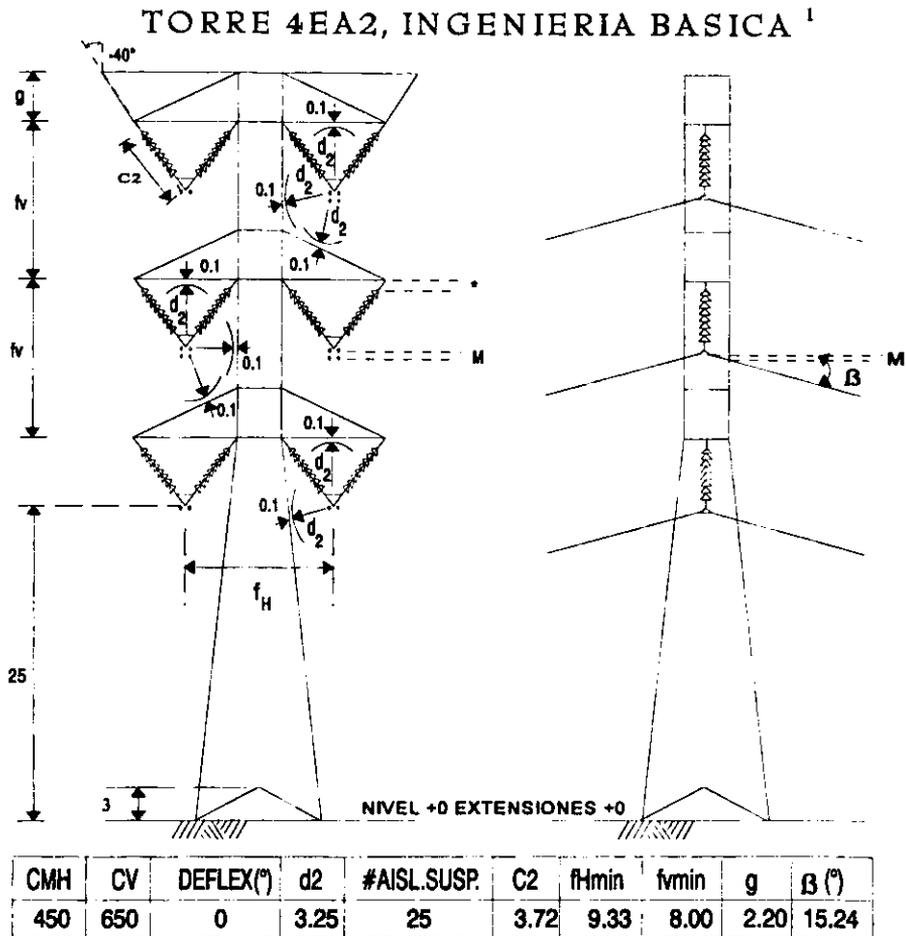


USO DE PATAS DE EXTENSIONES PARA ABSORBER DESNIVELES NATURALES DEL TERRENO



I. DISEÑO ELECTROMECAÁNICO

El diseño electromecánico o Silueta Básica para la torre 4EA2 se realiza en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, el cual proporciona las distancias básicas que rigen la geometría de la estructura, ver dibujo.



NOTA:
 * DISTANCIA DETERMINADA POR EL FABRICANTE
 PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA CRUCETA, EL DISEÑADOR CALCULARA LA
 DISTANCIA M Y EL ANGULO DE SALIDA β .

COTAS EN METROS

¹ CÁLCULOS REALIZADOS POR EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE CPE

I.1 ELECTROMECAÁNICO

Las dimensiones generales de una torre dependen de la distancia entre los cables conductores, la distancia de los cables respecto a la estructura, del número y tipo de aisladores que conforman a la cadena que soporta a los cables conductores, y la posición de los cables de guarda respecto a los cables conductores, estas condiciones son la pauta para determinar la geometría de la estructura.

El análisis de estos conceptos se sustenta en la relación de carácter experimental con pruebas en laboratorio y experiencias reales, así como del comportamiento mecánico de los cables, de la topografía y la meteorología en donde se construirá la L. T., la relación entre éstos dan como resultado la silueta fundamental y, por consiguiente, los diagramas de cargas para el diseño estructural.

I.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DIMENSIONAMIENTO

Se enlista a continuación los factores que determinan el dimensionamiento eléctrico:

- Datos básicos de la línea de transmisión.
- Coordinación de aislamiento y blindaje.
- Selección y uso mecánico de torres.
- Cálculo de flechas y tensiones.
- Capacidad mecánica de aisladores y herrajes.
- Distancia entre fases.

I.2.1 DATOS BÁSICOS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

En el inicio del dimensionamiento electromecánico, el Área de Planeación de CFE aporta los datos básicos de la L. T. en cuestión y éstos se obtienen del POSE "Programa de Obras del Sector Eléctrico":

I.2.1.1 INFORMACIÓN BÁSICA:

- Tensión eléctrica de operación.
- Número de circuitos.
- Longitud de la L. T.
- Calibre del conductor.
- N° de conductores por fase.

Al localizar la L. T. geográficamente en el ATLAS DEL AGUA DE LA REPÚBLICA MEXICANA se obtiene la siguiente información fundamental para calcular la coordinación de aislamiento:

- Temperatura media anual
- Temperatura mínima anual
- Temperatura máxima anual
- Humedad relativa anual
- Precipitación media anual
- Precipitación máxima en 24 h al año
- N° de días con heladas al año

De las Isotacas de Vientos, elaboradas por CFE y el IIE se determina:

- Velocidad máxima en 10 años
- Velocidad máxima en 50 años

Del mapa de isodensidad de cargas atmosféricas (rayos) a tierra obtenemos

- El nivel probable de rayos que caen sobre la Línea Transmisión

I.2.2 COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO Y BLINDAJE¹

En este estudio se determinan las distancias que deben guardar los cables conductores respecto a la estructura, las distancias de cable conductor a cable conductor, la posición relativa de los cables de guarda y se analiza la L. T. considerando el efecto del terreno, así como la topografía de la trayectoria.

Se efectúa el cálculo de distancia dieléctrica en aire para resistir sobre tensiones de rayo o maniobra de interruptores, fundamentándose en conceptos básicos de tensión crítica de flameo y nivel básico de aislamiento a la descarga atmosférica; así como en los resultados experimentales de laboratorios que determinan la rigidez dieléctrica de distintas configuraciones de electrodos y ondas de impulso.

De acuerdo con los valores de contaminación reportados en la zona o zonas por donde atraviesa la L. T., se proporciona la "Densidad equivalente a sal depositada" (DESD) dada en mg/cm^2 , con éste se seleccionan en curvas de laboratorio el tipo de aislador y el arreglo que sea capaz de resistir el nivel de contaminación.

Para la determinación de la posición óptima de blindaje del cable de guarda, se utiliza el "Modelo electro geométrico de blindaje", el cual relaciona las expresiones matemáticas entre conceptos eléctricos y geométricos.

Los factores eléctricos que se consideran para el análisis son la tensión crítica de flameo de las cadenas de aisladores, impedancia característica de los conductores, número de conductores por fase, diámetro de los mismos y la altitud sobre el nivel del mar de la L. T.

¹ Raúl Rodríguez Islas, Curso Integral de Líneas de Transmisión CFE, marzo de 1995.

Los factores geométricos también dependen de las características topográficas de la trayectoria, de las flechas del conductor e hilo de guarda respecto al suelo.

1.2.3 SELECCIÓN Y USO MECÁNICO DE TORRES ¹

A partir de la información estadística de claros horizontales, verticales y deflexiones del proyecto de la L. T. en cuestión, es posible definir los rangos de uso de los diferentes tipos de estructuras.

Esto, sin embargo, envuelve aspectos económicos, ya que contar con una variedad de tipos que cubra diversas solicitaciones, conduce a optimizar el tonelaje de las torres y el volumen de cimentaciones, pero por otra parte, eleva los costos con las pruebas de prototipos, tiempos de fabricación, áreas de almacenaje, y complicación en el control de los materiales.

Por el contrario decidir una familia reducida de tipos, conduce a obtener torres y cimentaciones más robustas, que inciden en el incremento de los costos de materiales, su transporte y su montaje.

Es claro que una L. T. ubicada en un terreno plano requiere menos diversidad de tipos, que una situada sobre topografía ondulada o montañosa, lo procedente es determinar el claro económico que corresponda en términos generales a un equilibrio entre los costos de acero y los de montaje.

1.6 CÁLCULO DE FLECHAS Y TENSIONES ¹

El cálculo de flechas y tensiones de los cables conductores y de hilo de

¹ Raúl Rodríguez Islas, Curso Integral de Líneas de Transmisión CFE, marzo de 1995.

guarda, nos permiten verificar el cumplimiento previo de las condiciones mecánicas limitantes del proyecto.

Esta información es importante para determinar junto con los libramientos reglamentarios, las alturas básicas de los puntos de enganche de los conductores en las torres y sus dimensiones entre fases.

I.2.5 CAPACIDAD MECÁNICA DE AISLADORES Y HERRAJES ¹

De acuerdo con las cargas aplicadas a los conjuntos de aisladores, tales como viento, peso de los elementos, deflexiones, cargas por hielo y tensiones de trabajo, se analizan los esfuerzos resultantes máximos considerando los factores de seguridad apropiados, de esta manera se obtienen las recomendaciones para la instalación de conjuntos de herrajes y aisladores eficientes y seguros.

I.2.6 DISTANCIA ENTRE FASES ¹

La formulación que existe al respecto en las compañías eléctricas del mundo se refiere a ecuaciones del tipo semiesférico, ya que relacionan magnitudes eléctricas como son las distancias dieléctricas y el voltaje nominal, con las mecánicas como la flecha y longitud de las cadenas de aisladores.

¹ Ing. Raúl Rodríguez Islas. Curso Integral de Líneas de Transmisión CFE, marzo de 1995.

II CÁLULO DE SOLICITACIONES CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS

II.1 INTRODUCCIÓN

Solicitud es todo agente que puede llevar a una torre a su estado límite. Para cada solicitud se establece un valor conservador, el cual se encuentra incrementado por medio de un factor de carga mayor que uno.

Los factores de carga entre mayores sean, implican una gran incertidumbre o contienen fuerzas más inciertas.

Debido a la incertidumbre en el cálculo de las solicitudes, su valor nominal se establece con probabilidades y se define como la intensidad de la solicitud tal, que la probabilidad de que ocurra una intensidad mayor en un período determinado sea pequeña.

CLASIFICACIÓN DE LAS SOLICITACIONES (FUERZAS)

Las solicitudes consideradas en el diseño de torres de Transmisión son:

- a) Tipo A, son fuerzas verticales debidas a la masa de cables, a la de los accesorios, aisladores y herrajes; y a la de personal en condición de maniobra.
- b) Tipo B, son fuerzas verticales que consideran a la masa de cables, accesorios, aisladores y herrajes, considerando adicionalmente la masa que resulta por la acumulación de hielo.

- c) Tipo C y D, la primera se debe a fuerzas transversales producto de la acción del viento sobre los cables, aisladores, herrajes y accesorios; la segunda se debe a fuerzas transversales provocadas por el viento sobre los elementos estructurales.

Debido a los fenómenos meteorológicos y sus efectos, el viento con características no previsible respecto a su velocidad, dirección y frecuencia, genera grandes esfuerzos sobre la estructura que esta a su vez trasmite a sus cimentaciones.

En los últimos años el IIE y CFE han proporcionado planos de isotacas con velocidades regionales de viento más precisos debido a la instrumentación con que se cuenta actualmente y a estudios basados en estadística.

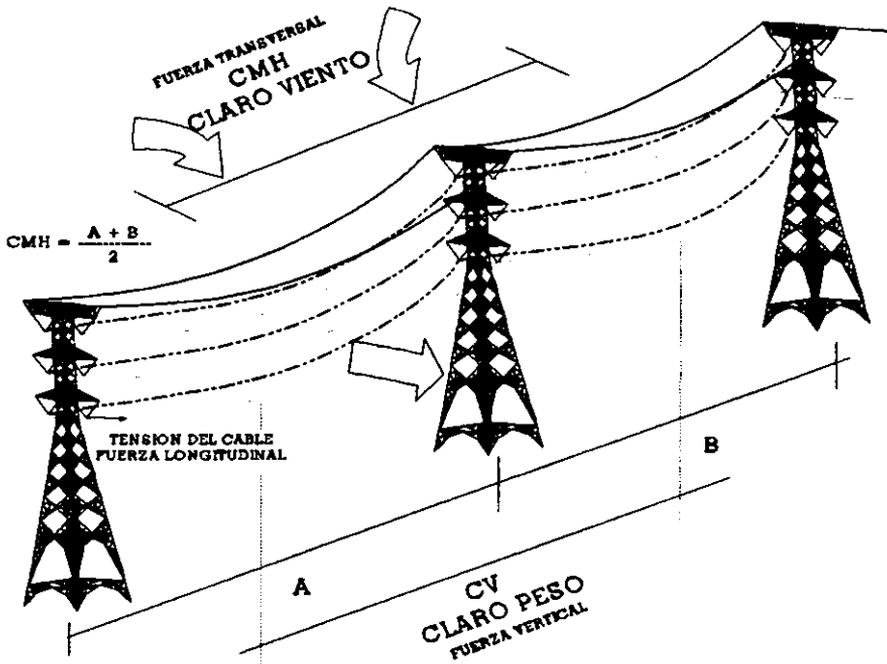
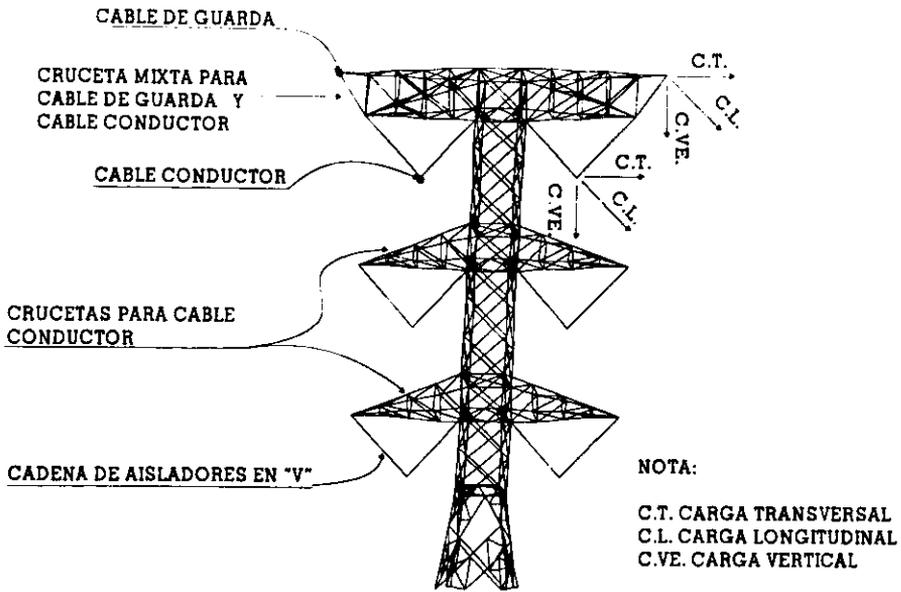
Dichos planos se han desarrollado para diferentes periodos de retorno de: 10, 50, 100, 200 y 1000 años.

- e) Tipo F, son fuerzas longitudinales debidas a la tensión de los cables.

Para el diseño de estructuras para L.T. no es necesario realizar una revisión por sismo ya que este fenómeno no influye sobre la estructura.

Esta clasificación queda establecida en la especificación J1000-50 de CFE.

II.1.2 NOMENCLATURA DE LAS SOLICITACIONES



II.2 VARIABLES A CONSIDERAR PARA EL CÁLCULO DE LAS SOLICITACIONES ¹

II.2.1 FUERZAS VERTICALES (TIPO A y B)

Variables a considerar para el tipo "A"

- a) W_{cc} : masa unitaria en cables conductores [kg/m]
- b) W_{cg} : masa unitaria en cables de guarda [kg/m]
- c) W_{ais} : masa unitaria de los aisladores y herrajes [kg]
- d) W_{acc} : accesorios, cadenas adicionales, etc. [kg]
- e) Carga viva en las puntas de las crucetas debido al montaje, se supone la masa de personal y equipo aproximadamente de 700 kg para 400 kV en crucetas de conductores y de 300 kg para crucetas de guarda.
- f) CV: Claro vertical o Claro de Peso, es la distancia entre dos catenarias adyacentes.

Variables a considerar para el tipo "B"

- a) $W_{cc} + W_h$: masa unitaria en cables conductores mas la masa unitaria de una capa de hielo de 5 mm [kg/m]
- b) $W_{cg} + W_h$: masa unitaria en cables de guarda mas la masa unitaria de una capa de hielo de 5 mm [kg/m]

¹ Diseño de Torres para Líneas de Transmisión. Especificación CFE J1000-50, agosto de 1994.

- c) W_{ais} : masa unitaria de los aisladores y herrajes mas la masa unitaria de una capa de hielo de 5 mm [kg]
- f) CV : Claro vertical o Claro de Peso, es la distancia entre dos catenarias adyacentes.
- d) W_{acc} : accesorios, cadenas adicionales, etc. mas la masa unitaria de una capa de hielo de 5 mm [kg]

Para este prototipo no se considera el efecto del hielo debido a que la L. T. se localiza en una zona tropical.

II.2.2 FUERZAS TRANSVERSALES (TIPO C y D)

Variable a considerar tipo "C"

- a) D_{cc} : diámetro del cable conductor [m].
- b) D_{cg} : diámetro del cable de guarda [m].
- c) D_{cad} : diámetro de la cadena de aisladores [m].
- d) L_{cad} : longitud de la cadena de aisladores [m].
- e) CMH : Claro Medio Horizontal [m], es el Claro de Viento, es la semisuma de la distancia interpostal entre dos torres.
- f) Fr : factor de claro, si el CMH es igual o mayor de 500 m se considera

un valor de 0.6; si el CMH es igual o menor de 100 m se debe considerar un valor de 0.8, para claros intermedios se interpolará para calcular su valor.

- g) P_{vc} : presión del viento sobre los cables [kg/m²]

Variables a considerar tipo "D"

- a) P_{ve} : presión del viento sobre la estructura [kg/m²]
- b) A_e : área expuesta al viento de la estructura [m²]

II.2.3 FUERZAS LONGITUDINALES (TIPO F)

Variables a considerar para el tipo "F"

- a) En torres de suspensión se considera la fuerza longitudinal no contrarrestada debida a la rotura del cable conductor o al cable de guarda [kg].
- b) Se considera una fuerza longitudinal debido a maniobras en el cable conductor o en el cable de guarda.

II.3 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE PRESIONES

II.3.1 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD REGIONAL V_R

La velocidad regional de viento es la máxima velocidad media probable de presentarse con un cierto periodo de recurrencia en una zona o región determinada del país.

La velocidad regional se determina tomando en consideración tanto la localización geográfica del sitio de desplante de la estructura como su destino.

En la especificación J1000-50 CFE indica que los periodos de retorno a utilizar en el diseño de estructuras para L. T. será el de 50 y 10 años.

II.3.2 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DISEÑO V_D ¹

La velocidad de diseño V_D se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_D = F_T F_s V_R$$

en donde:

F_T Factor de topografía del sitio [adimensional]

F_s Factor que toma en cuenta la rugosidad local, el tamaño de la estructura y variación de la velocidad con la altura [adimensional]

V_R Velocidad de viento regional [km/h]

Partiendo de esta se calculan los efectos del viento sobre la estructura o algún componente de la misma.

¹ Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento, CFE-IEE 1993.

CATEGORÍAS DE TERRENOS Y CLASES DE ESTRUCTURAS

En el análisis del efecto del viento sobre la estructura y sus componentes intervienen factores que dependen de las condiciones topográficas y de exposición locales del sitio en donde se desplantará la estructura, así como su tamaño.

En la siguiente tabla se encuentran las clasificaciones de los terrenos en función de su rugosidad.

Cat	Descripción	Ejemplos	Limitaciones
1	Terreno abierto, prácticamente plano sin obstrucciones	Franjas costeras planas, zonas de pantanos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor. Superficies nevadas planas.	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, arboles y construcciones dispersas.	Las obstrucciones tienen alturas de 1.5 a 10 m, en una longitud mínima de 1500 m.
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas.	Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de casas y viviendas.	Las obstrucciones presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la construcción, la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas.	Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.	Por lo menos el 50% de los edificios tienen una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la construcción.

Clasificación de las estructuras según su tamaño de acuerdo a la siguiente tabla.

Clase	Descripción
A	Todo elemento de recubrimiento de fachadas, de ventanería y de techumbres y sus respectivos sujetadores. Todo elemento estructural aislado, expuesto directamente a la acción del viento. Asimismo, todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea menor que 20 m.
B	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, varíe entre 20 y 50 metros.
C	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea mayor que 50 m

FACTOR DE EXPOSICIÓN F_a

Este representa la variación de la velocidad del viento respecto a una altura Z , también considera el tamaño de la construcción y las características de exposición. Se calcula con la siguiente expresión:

$$F_a = F_c F_{rz}$$

en donde:

F_c Factor que determina la influencia del tamaño de la construcción [adimensional].

F_{rz} Factor que establece la variación del viento respecto a una altura Z en función de la rugosidad del terreno [adimensional].

FACTOR DE TAMAÑO F_C

Toma en cuenta el tiempo en el que la ráfaga del viento actúa de manera efectiva sobre la estructura, en función de la clasificación de la estructura según su tamaño, (ver tabla).

Clase de estructura	F_C
A	1.00
B	0.95
C	0.90

FACTOR DE RUGOSIDAD Y ALTURA F_{rz}

Establece la variación de la velocidad del viento respecto a la altura Z , que está en función de la categoría del terreno y del tamaño de la estructura.

Se obtiene de las siguientes formulas:

$$F_{rz} = 1.56 \left[\frac{10}{\delta} \right]^\alpha \quad \text{si } Z \leq 10$$

$$F_{rz} = 1.56 \left[\frac{Z}{\delta} \right]^\alpha \quad \text{si } 10 < Z < \delta$$

$$F_{rz} = 1.56 \quad \text{si } Z \geq \delta$$

- δ Altura media a partir del nivel del terreno de desplante, por encima del cual la variación de la velocidad del viento no es importante y se puede suponer constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente, δ y Z [en metros].

α El exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura [adimensional]

α y δ Están en función de la rugosidad del terreno y del tamaño de la estructura, (ver tabla).

Categoría de terreno	α			δ (m)
	Clase de estructura			
	A	B	C	
1	0.099	0.101	0.105	245
2	0.128	0.131	0.138	315
3	0.156	0.160	0.171	390
4	0.170	0.177	0.193	455

FACTOR DE TOPOGRAFÍA F_T

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura, el cual se obtiene de la siguiente tabla.

Sitios	Topografía	F_T
Protegidos	Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.	0.8
	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5%.	1.0
Expuestos	Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10%, valles abiertos y litorales planos	1.1
	Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores que 10%, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañón, islas.	1.2

II.3.3 PRESIÓN DINÁMICA DE BASE q_z

Cuando el viento actúa sobre un obstáculo, genera presiones sobre su superficie que varían según la intensidad de la velocidad y la dirección del viento.

La presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él se denomina Presión dinámica de base y se determina con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0048 \cdot G \cdot V_D^2$$

en donde:

G: factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar.

V_D : la velocidad de diseño [km/h].

q_z : presión dinámica de base a una altura Z sobre el nivel del terreno [kg/m^2].

El factor 0.0048 corresponde a un medio de la densidad del aire y el valor de G se obtiene de:

$$G = \frac{0.392 \cdot \Omega}{273 + \tau}$$

en donde:

Ω presión barométrica [mm Hg] (ver tabla).

Altitud [msnm]	Presión barométrica [mm de Hg]
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

τ temperatura ambiental [$^{\circ}\text{C}$]

II.3.4 PRESIÓN ACTUANTE SOBRE UNA ESTRUCTURA

La presión que actúa sobre una estructura se determina por la siguiente ecuación que toma en cuenta su forma:

$$P_z = C_p \cdot q_z$$

C_p : coeficiente de presión que depende de la forma estructural.

Para secciones circulares con superficie rugosa el coeficiente es 1.2 que es el caso de cable.

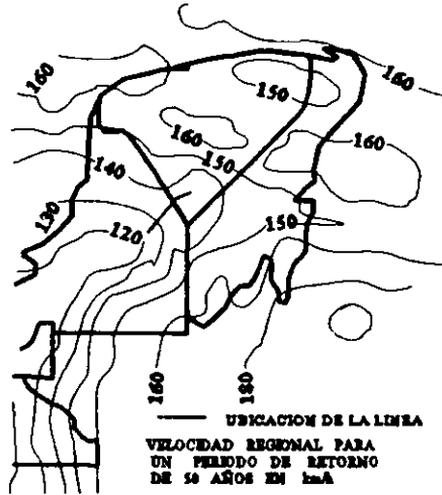
Para el caso de perfiles el coeficiente de arrastre es de 3.3.

El coeficiente de 1.2 para secciones transversales circulares muy rugosas se determina en la tabla I.28 del Manual de Obras Civiles, y para los elementos de lados planos que conforman a las estructuras de las torres se toma el valor de 3.3 de forma general para toda la estructura debido a que el cálculo de la presión del viento se tiene antes del diseño del prototipo por lo que no se puede determinar la solidez de la cara.

La revisión al prototipo es definitiva por lo que no se realiza ningún ajuste a la presión actuante del viento sobre la estructura debido a la solidez de la cara.

II.4 CÁLCULO DE LAS PRESIONES DE VIENTO SOBRE CABLES Y ESTRUCTURA 4EA2.

- a) Se localiza la L. T. sobre el mapa de isotacas¹ para un periodo de retorno de 10 y 50 años, y se obtienen los siguientes vientos regionales:



¹ Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento, CFE-IIIE 1993.

De las isotacas de vientos se obtiene.

$$V1 = V_R \text{ 10 años} = 110.0 \text{ km/h}$$

$$V2 = V_R \text{ 50 años} = 140.0 \text{ km/h}$$

$$V3 = V_R \text{ reducido} = 55.0 \text{ km/h (0.5} \cdot V1)$$

b) Cálculo de la velocidad de diseño (V_D)

Basado en:

- Categoría de terreno: 1
- Clase de estructura: C
- Factor de Tamaño F_C : 0.90
- Factor de rugosidad y altura F_{rz} : 1.387

$$\alpha = 0.105$$

$$\delta = 245$$

$$Z = 80 \text{ m}$$

$$F_{rz} = 1.56 \left[\frac{80}{245} \right]^{0.105} = 1.387$$

Factor de topografía: 1.0

Factor de exposición F_a

$$F_a = 0.9(1.387)$$

Cálculo de la velocidad de diseño:

$$V_D = 1.0(1.248)V_R$$

c) Cálculo de la presión dinámica de base (q_z):

Datos:

$$msnm = 1500$$

$$\Omega = 635 \text{ mm de Hg}$$

$$\tau = 25.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G = 0.8339$$

C_a para cables y secciones circulares 1.2

C_a para ángulos 3.3

II.4.1 TABLA DE PRESIONES PARA EL DISEÑO DE LA TORRE 4EA2

V_R [km/h]	V_D [km/h]	q_z [kg/m ²]	CÁLCULO PARA CABLES		CÁLCULO PARA ESTRUCTURA	
			Factor de arrastre	P_C [kg/m ²]	Factor de arrastre	P_E [kg/m ²]
110	137.30	75.40	1.2	90	3.3	249
140	174.76	122.16	1.2	147	3.3	403
55	68.66	18.86	1.2	23	3.3	62

II.4.2 CÁLCULO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DEL VIENTO EN CABLES

De acuerdo con la especificación J1000-50 de CFE, se tiene un factor de reducción del V1 en función del CMH.

$$\text{- Si CMH} \geq 500 \text{ m - } F_R = 0.6$$

- Si $CMH \leq 100 \text{ m}$ - $F_R = 0.8$

En el uso de la torre 4EA2 se tienen un $CMH = 450 \text{ m}$, por lo que interpolando se tiene un factor de 0.63

II.5 FACTORES EN LA TENSIÓN MECÁNICA DE LOS CABLES

Para el caso de las solicitaciones transversales en torres de suspensión de acuerdo con la Especificación J1000-50 de CFE se tiene:

- Rotura del cable conductor = 0.67
- Rotura del cable de guarda = 1.00
- Maniobra = 1.00

II.6 COMBINACIONES DE CARGAS

- a) En condiciones normales se combina el viento medio, máximo y reducido según sea el caso con la masa de cables, aisladores, herrajes, hielo etc.

De acuerdo con la Especificación J1000-50 de CFE.

V1 Viento medio se refiere al período de retorno de 10 años.

V2 Viento máximo se refiere al período de retorno de 50 años.

V3 Viento reducido se considera la mitad del viento medio.

- b) Condiciones accidentales por rotura de cables con y sin hielo, en las cuales se combinan con la velocidad de viento reducido y medio respectivamente en la masa de los cables, aisladores, herrajes, hielo, etc.

- c) Condiciones de maniobra por tendido de cable, en las cuales se combina con viento reducido, en masa de cables, aisladores y herrajes, etc. y carga viva.

II.6.1 CONDICIONES DE CARGA

A = Fuerza vertical en kilogramos debida a la masa de los cables conductores y de guarda, aisladores, herrajes y accesorios.

B = Fuerza vertical en kilogramos debida al peso propio de la estructura.

Fuerza transversal en kilogramos generada por el viento en cables

C1 = Debida a la acción del viento V1.

C2 = Debida a la acción del viento V2.

C3 = Debida a la acción del viento V3.

Fuerza transversal en kilogramos generada por el viento sobre la estructura.

D1 = Debida a la acción del viento V1.

D2 = Debida a la acción del viento V2.

D3 = Debida a la acción del viento V3.

F = Fuerza longitudinal en [kg] debida a la tensión máxima de los cables.

H = Fuerza transversal en [kg] debida a la tensión máxima de los cables y la desviación de la línea.

W = Fuerza vertical adicional.

700 kg para conductores de 230 y 400 kV.

300 kg para conductores de guarda.

Condiciones y factores de cargas que se aplican a una estructura de suspensión de acuerdo a la siguiente tabla.

Condición de servicio	Combinación de fuerzas	Viento
Normal	A*1.1 B*1.1 C1*1.5 D1*1.5	V1
Máxima	A*1.1 B*1.1 C2*1.1 D2*1.1 F*1.1	V2
Rotura de cable	A*1.1 B*1.1 C1*1.1 D1*1.1 F*1.1	V1
Maniobra	A*1.1 B*1.1 C3*1.1 D3*1.1 F*1.1 W	V3

II.7 DATOS PARA EL CÁLCULO DE SOLICITACIONES

Estructura tipo: 4EA2 Suspensión

Claro medio horizontal (CMH)	450	m
Claro vertical (CV)	650	m
Ángulo de deflexión	0	°
Diámetro del cable conductor (D_{cc})	0.03198	m
Peso del cable conductor (W_{cc})	1.868	kg/m
Número de conductores por fase	2	
Diámetro del cable de guarda (D_{cg})	0.01588	m
Peso del cable de guarda (W_{cg})	0.60	kg/m
Diámetro de los aisladores (D_{cad})	0.254	m
Longitud de la cadena de aisladores (L_{cad})	3.72	m
Peso de la cadena de aisladores por unidad (W_{ais})	188	kg
Numero de cadenas en los extremos	2	
Número de cadenas al centro	2	
Presión del viento normal sobre conductores (P_{CV1})	90	kg/m ²
Presión del viento máximo sobre conductores (P_{CV2})	147	kg/m ²
Presión del viento normal sobre estructura (P_{EV1})	249	kg/m ²
Presión del viento máximo sobre estructura (P_{EV2})	403	kg/m ²
Presión del viento reducido sobre conductores (P_{CV3})	23	kg/m ²
Presión del viento reducido sobre estructura (P_{EV3})	62	kg/m ²
Factor por velocidad y CMH para torres susp.	0.63	
Factor de rotura para torres de suspensión	0.67	
Tensión del cable de conductor	4200	kg
Tensión del cable de guarda	1300	kg

II.8 CÁLCULO DE LAS SOLICITACIONES PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO

Para este prototipo se tienen 22 combinaciones de carga, por lo que en CFE se ha desarrollado un programa para calcularlas. A manera de ejemplo se desarrolla el cálculo del caso Normal con viento medio VI.

CÁLCULO PARA EL CASO NORMAL CON VIENTO MEDIO VI

CÁLCULO DE LAS CARGAS VERTICALES

PARA LA CRUCETA DE CABLE DE GUARDA CV_{cg}

DATOS CABLE DE GUARDA

$$W_{cg} = 0.60 \text{ kg/m}$$

$$CV = 650 \text{ m}$$

$$0.60 \times 650 = 390.00 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{r} \underline{\quad \times 1.1 \quad} \\ CV_{cg} = 429.00 \text{ kg} \end{array}$$

PARA LA CRUCETA DE CABLE CONDUCTOR CV_{cc}

DATOS CABLE CONDUCTOR

$$W_{cc} = 1.868 \text{ kg/m}$$

$$CV = 650 \text{ m}$$

$$1.868 \times 650 = 1214.20 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{r} \underline{\quad \times 2 \text{ COND.} \quad} \\ C_{cc} = 2428.40 \text{ kg} \end{array}$$

DATOS AISLADORES

$$188.00 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{r} \underline{\quad \times 2 \text{ CAD.} \quad} \\ W_{ais} = 376.00 \text{ kg} \end{array}$$

$$W_{ais} + C_{cc} = 2804.40 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{r} \underline{\quad \times 1.1 \quad} \\ CV_{cc} = 3085.00 \text{ kg} \end{array}$$

CÁLCULO DE LAS CARGAS TRANSVERSALES

PARA LA CRUCETA DE CABLE DE GUARDA CT_{cg}

DATOS CABLE DE GUARDA

$$D_{cg} = 0.01588 \text{ m}$$

$$CMH = 450.00 \text{ m}$$

$$\text{FACTOR CMH} = 0.63$$

$$P_{cvi} = 90.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{array}{r} \underline{\times 0.63} \text{ FACTOR CMH} \\ 56.70 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

$$0.01588 \times 450 \times 56.70 = 405.30 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{r} \underline{\times 1.5} \\ CT_{cg} = 608.00 \text{ kg} \end{array}$$

PARA LA CRUCETA DE CABLE CONDUCTOR CT_{cc}

DATOS CABLE CONDUCTOR

$$D_{cc} = 0.03198 \text{ m}$$

$$CMH = 450.00 \text{ m}$$

$$\text{FACTOR CMH} = 0.63$$

$$P_{cvi} = 90.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{array}{r} \underline{\times 0.63} \text{ FACTOR CMH} \\ 56.70 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

$$0.03198 \times 450 \times 56.70 = 816.00 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{r} \underline{\times 2 \text{ COND.}} \\ C_{cc} = 1632.00 \text{ kg} \end{array}$$

DATOS AISLADORES

$$D_{cad} = 0.254 \text{ m}$$

$$L_{cad} = 3.72 \text{ m}$$

FACTOR REDUCCIÓN POR ÁREAS = 0.925

$$P_{cvi} = 90.00 \text{ kg/m}^2$$

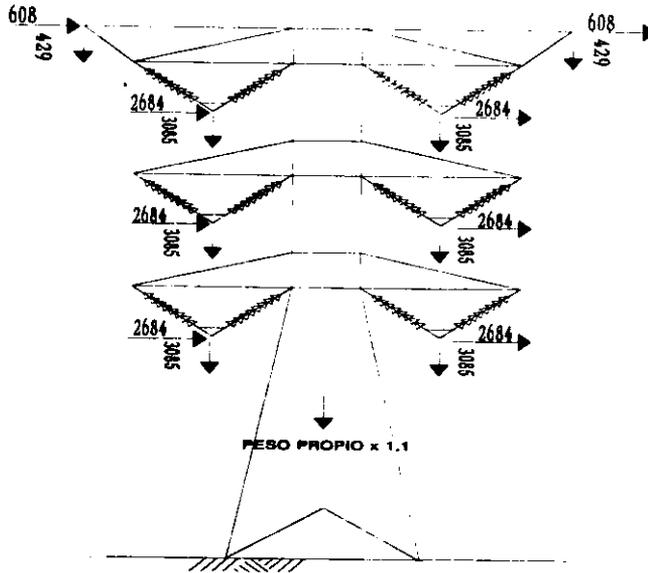
$$0.254 \times 3.72 \times 90 \times 0.925 = 78.66 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{r} \underline{\times 2 \text{ CAD.}} \\ C_{cad} = 157.33 \text{ kg} \end{array}$$

$$C_{cc} + C_{cad} = 1789.33 \text{ kg}$$

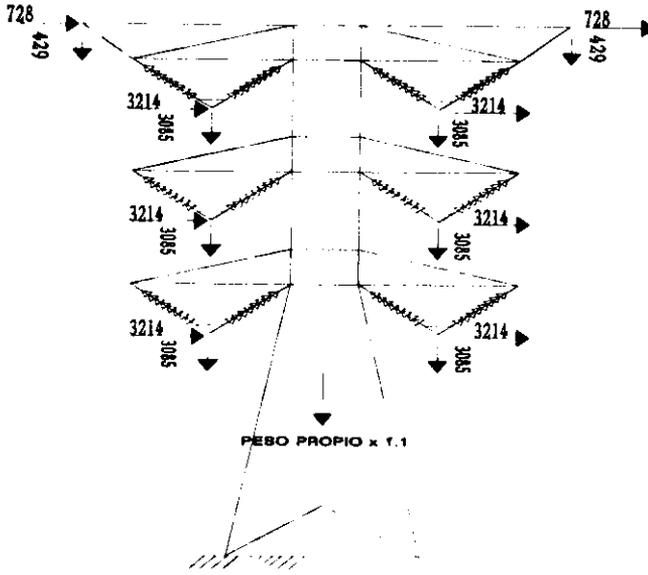
$$\begin{array}{r} \underline{\times 1.5} \\ CT_{cc} = 2684.00 \text{ kg} \end{array}$$

CASO 1 NORMAL CON VIENTO MEDIO V1

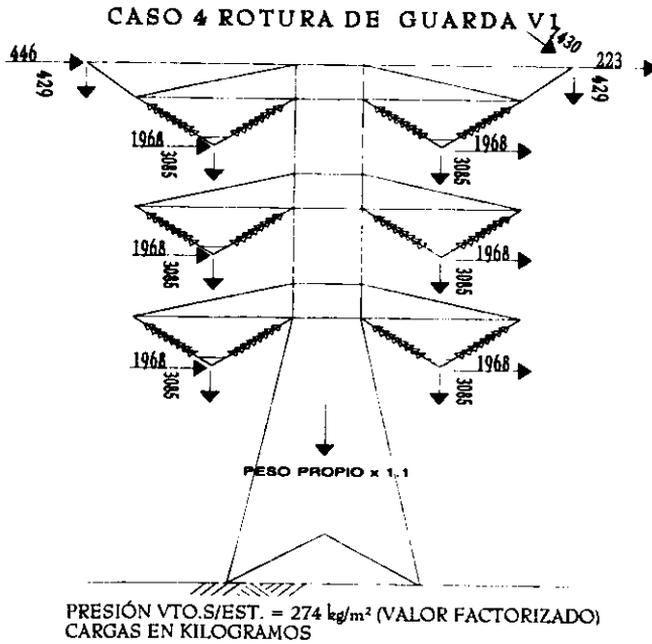
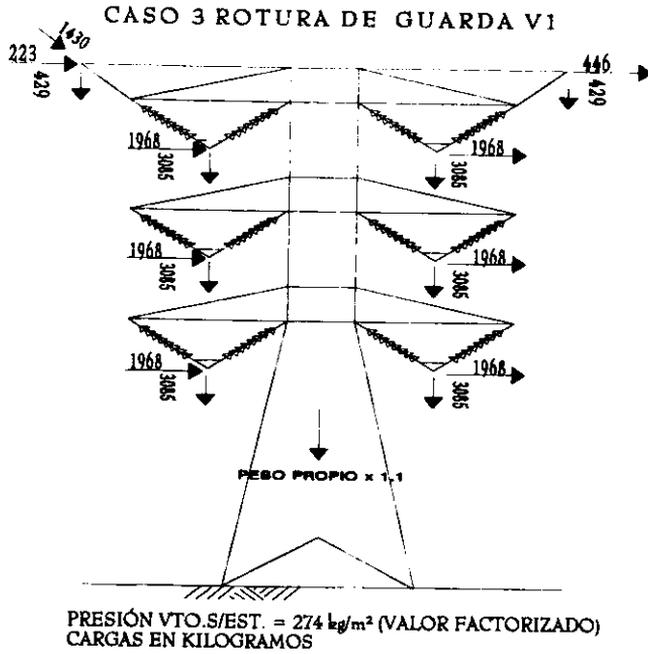


**PRESIÓN VTO. S/EST. = 374 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS**

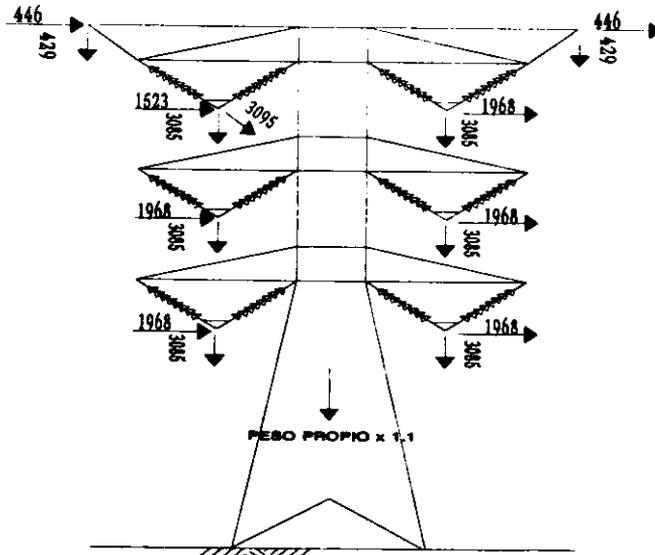
CASO 2 NORMAL CON VIENTO MAXIMO V2



**PRESIÓN VTO S/EST. = 443 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS**

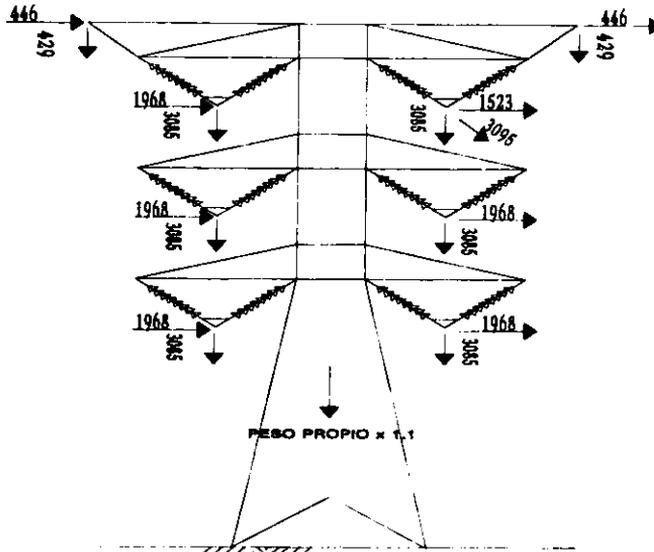


CASO 5 ROTURA DE CONDUCTOR V1



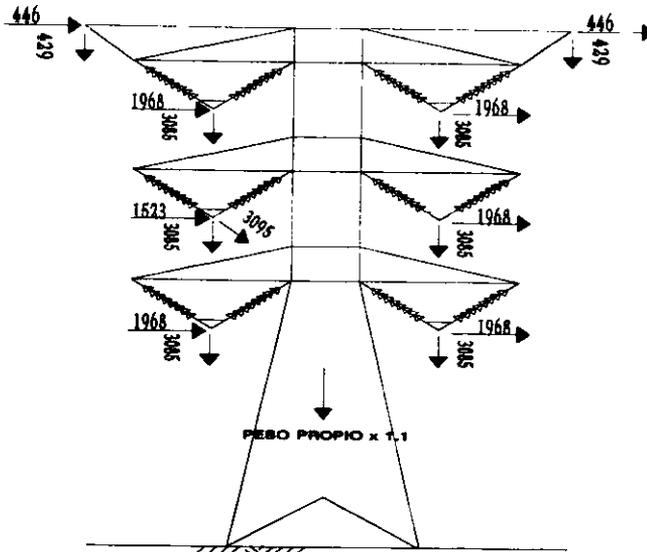
PRESIÓN VTO.S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 6 ROTURA DE CONDUCTOR V1



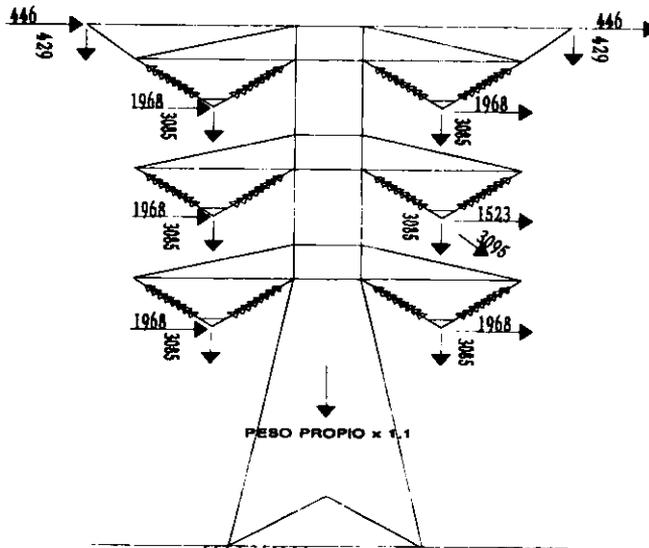
PRESIÓN VTO.S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 7 ROTURA DE CONDUCTOR V1



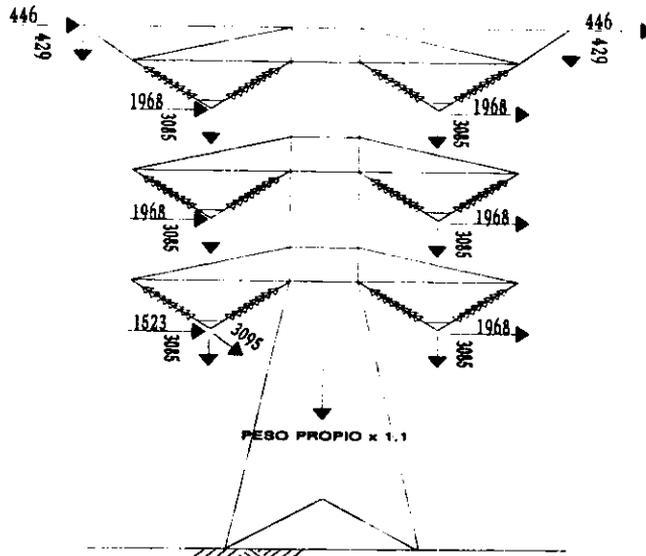
PRESIÓN VTO. S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 8 ROTURA DE CONDUCTOR V1



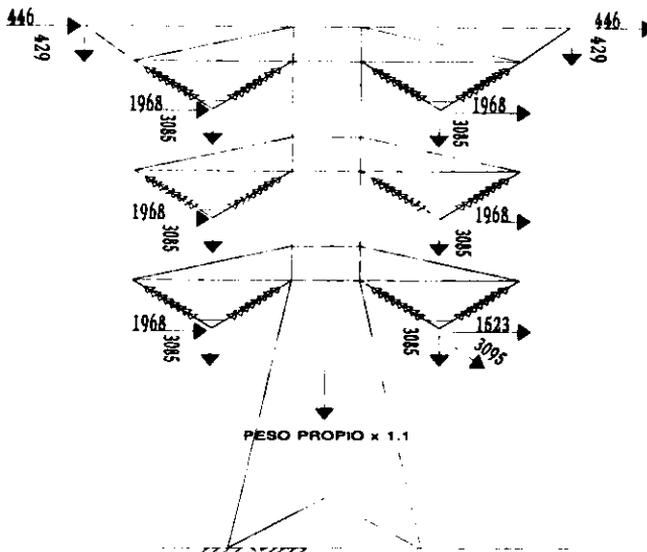
PRESIÓN VTO. S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 9 ROTURA DE CONDUCTOR V1

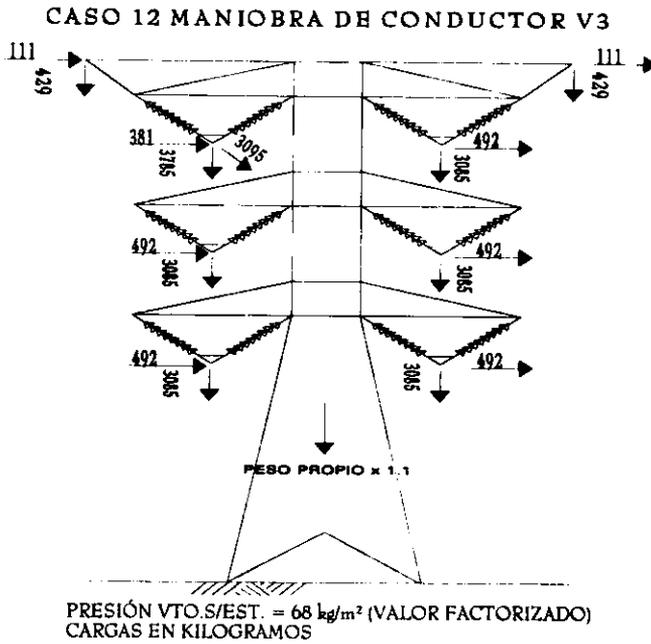
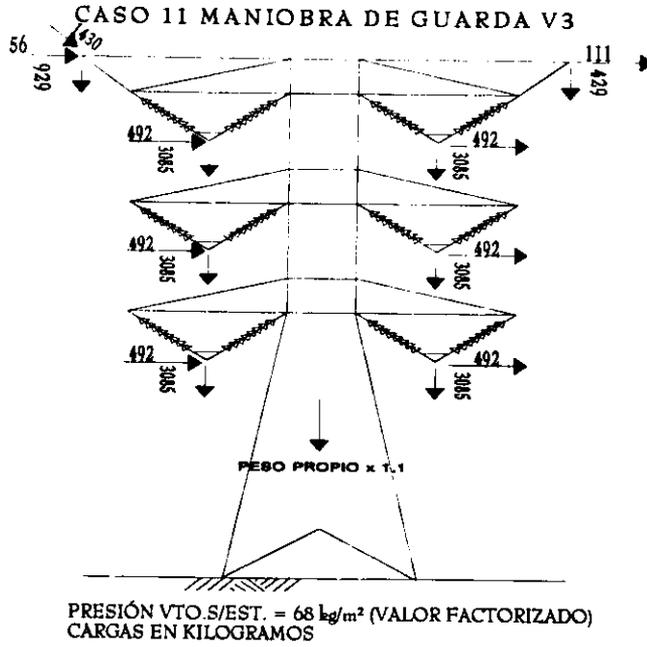


PRESIÓN VTO.S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

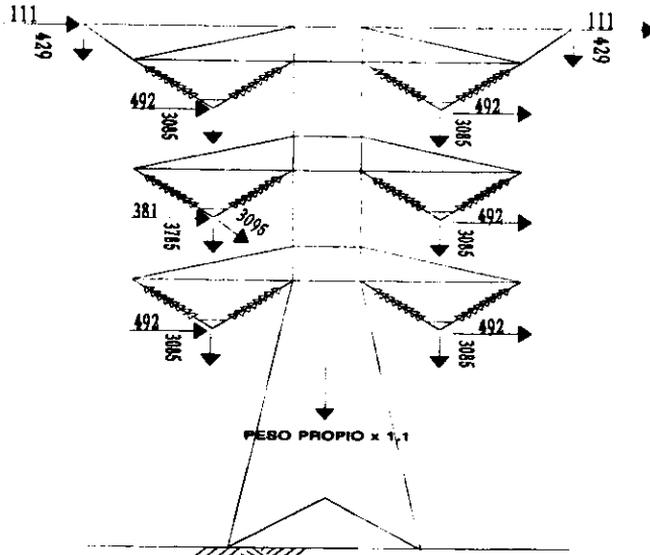
CASO 10 ROTURA DE CONDUCTOR V1



PRESIÓN VTO.S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

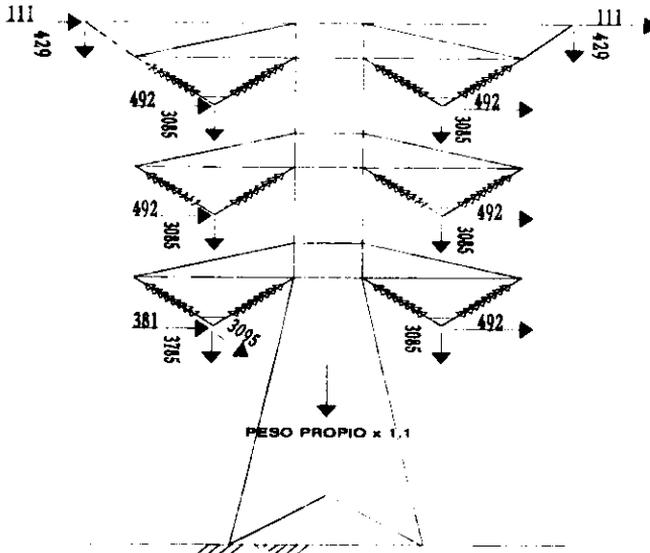


CASO 13 MANIOBRA DE CONDUCTOR V3



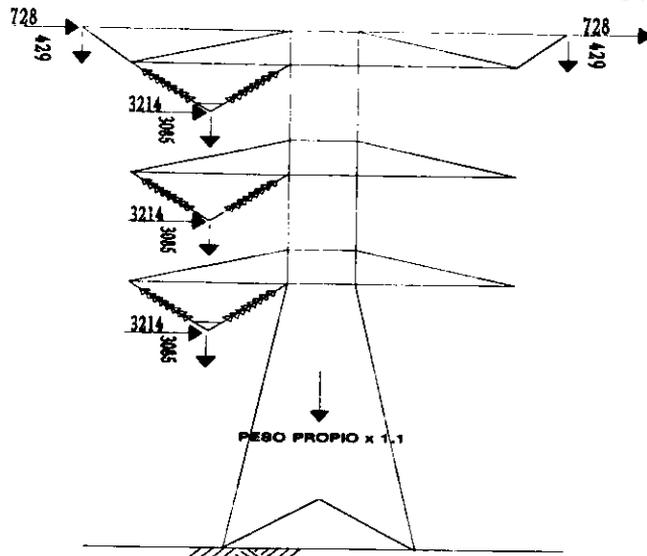
PRESIÓN VTO.S/EST. = 68 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 14 MANIOBRA DE CONDUCTOR V3



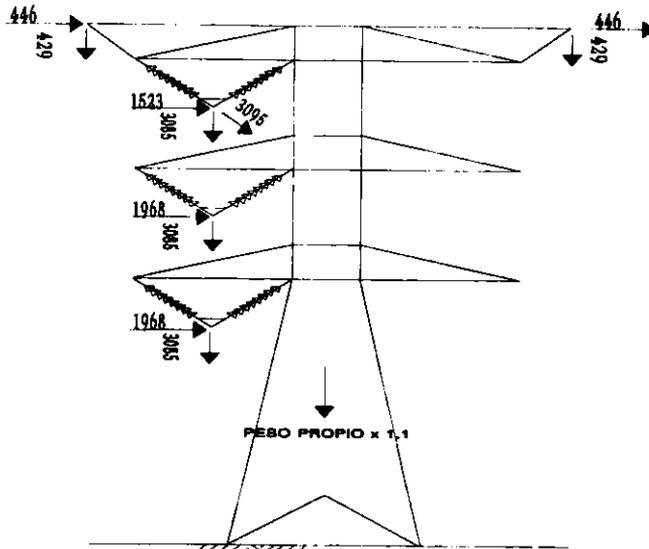
PRESIÓN VTO.S/EST. = 68 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 15 NORMAL VIENTO MAXIMO V2 1 CTO.



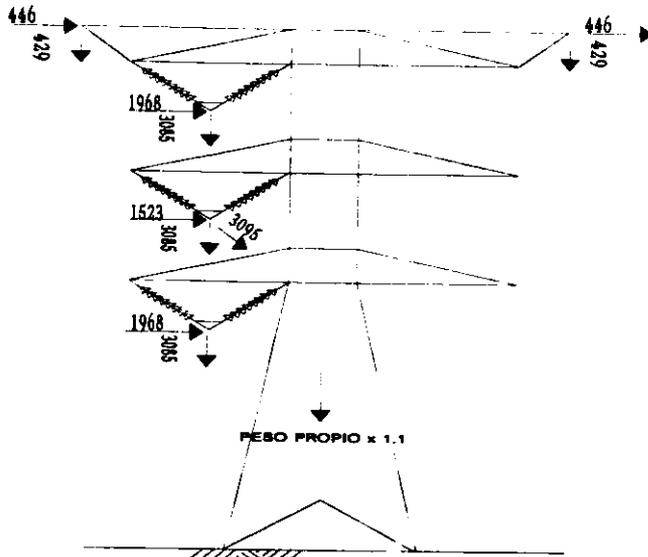
PRESIÓN VTO.S/EST. = 443 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 16 ROTURA DE CONDUCTOR V1 1 CTO.



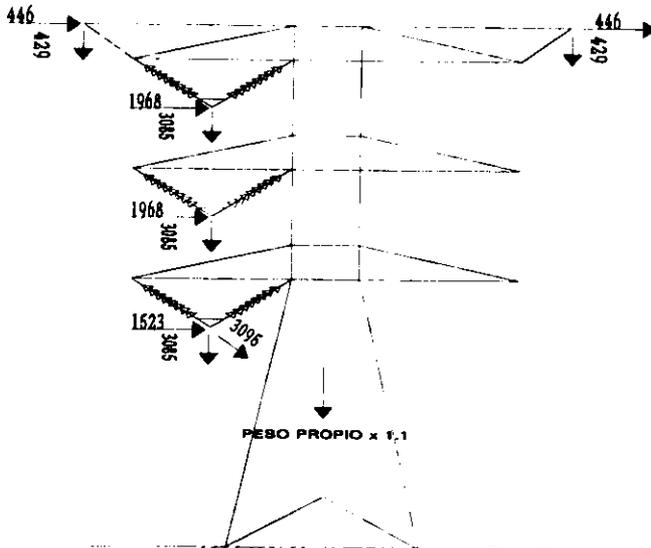
PRESIÓN VTO.S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 17 ROTURA EN CONDUCTOR V1 1 CTO.



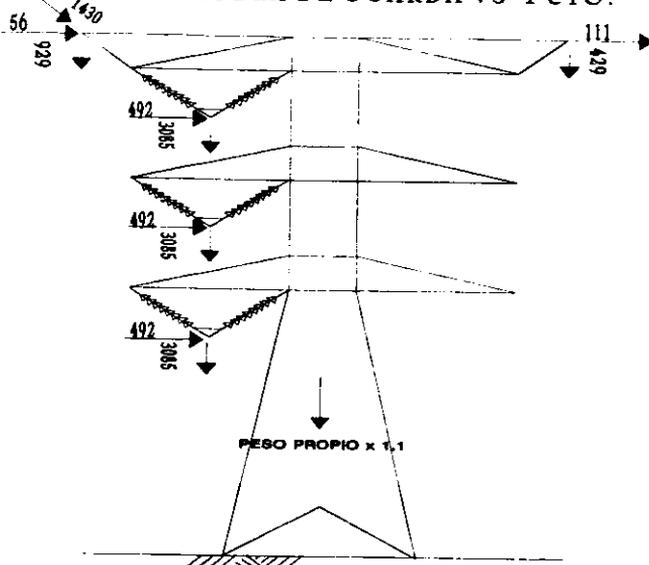
PRESIÓN VTO.S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 18 ROTURA DE CONDUCTOR V1 1 CTO.



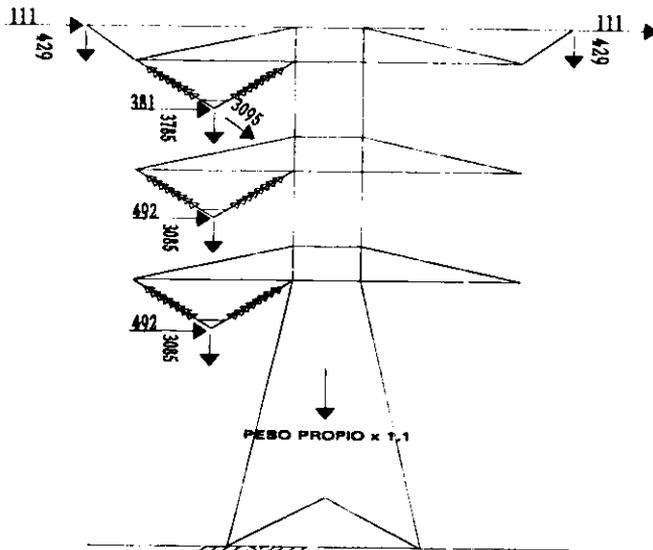
PRESIÓN VTO.S/EST. = 274 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 19 MANIOBRA DE GUARDA V3 1 CTO.



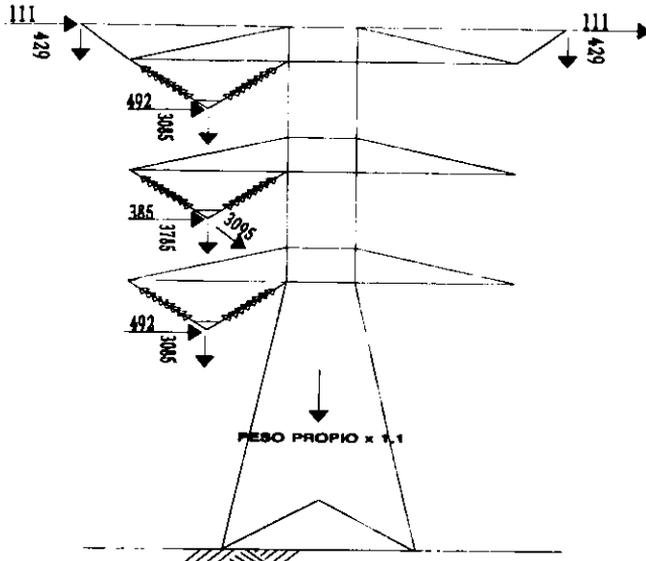
PRESIÓN VTO.S/EST. = 68 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 20 MANIOBRA DE CONDUCTOR V3 1 CTO.



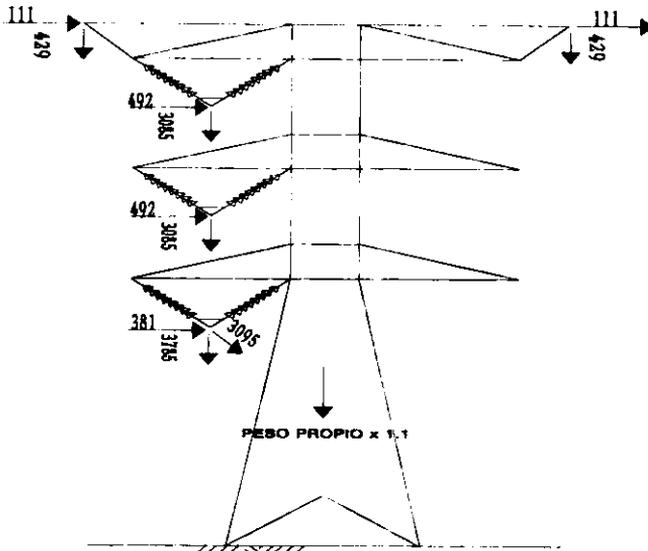
PRESIÓN VTO.S/EST. = 68 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 21 MANIOBRA DE CONDUCTOR V3 1 CTO.



PRESIÓN VTO.S/EST. = 68 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

CASO 22 MANIOBRA DE CONDUCTOR V3 1 CTO.



PRESIÓN VTO.S/EST. = 68 kg/m² (VALOR FACTORIZADO)
CARGAS EN KILOGRAMOS

III. GENERACIÓN DEL MODELO EN LA COMPUTADORA

III.1 INTRODUCCIÓN

Se realizó el análisis estructural tridimensional, utilizando el programa ToMAD (Tower Modeling and Desing) este se conforma por tres módulos interactivos, el de modelado, el de análisis y el de diseño.

El programa puede procesar 1500 nudos, 4000 elementos, 250 grupos y 100 casos de cargas (acepta factores de carga en función de los requerimientos del cliente), puede calcular el área expuesta al viento de forma automática considerando los efectos de barlovento y sotavento, también se puede dar áreas concentradas en los nudos, permite generar las cadenas de aisladores tipo "V" simétricas y asimétricas enganchadas a la estructura y para el caso de cadenas verticales tipo "I".

El programa permite realizar análisis del tipo lineal o no lineal, el primero es el que se utilizó para la revisión del prototipo, el segundo es utilizado para el análisis y diseño de torres con retenidas considerando la flexión de los elementos debido a la acción del viento conforme a la Especificación CFE J1000-50.

La revisión del prototipo propuesto se realizó de la siguiente forma: se generó el modelo en el programa ToMAD, respetando las dimensiones y perfiles propuestos, partiendo de esto se realizó el análisis y diseño del prototipo.

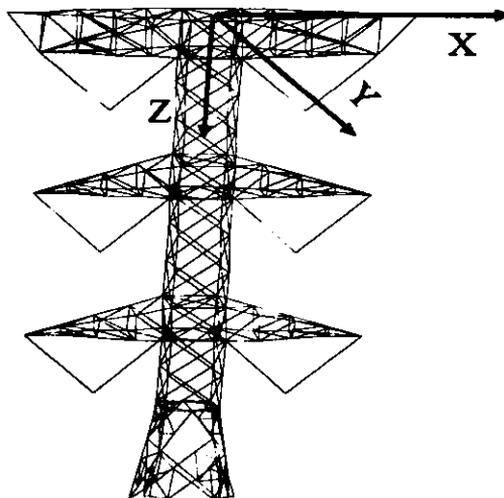
III.2 PROCESO PARA LA GENERACIÓN DEL MODELO

III.2.1 DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA

(Nombre de la L. T. donde se va a utilizar, nombre de la estructura, nivel analizado, etc.)

III.2.2 CÁLCULO DE COORDENADAS DE LOS NUDOS

Del prototipo propuesto se calcularon las coordenadas X, Y, Z de cada nudo, fijando el origen en el centro y en la parte superior de la estructura con el fin de facilitar el cálculo y la captura en la computadora, se muestra la convención de ejes adoptado para el análisis.



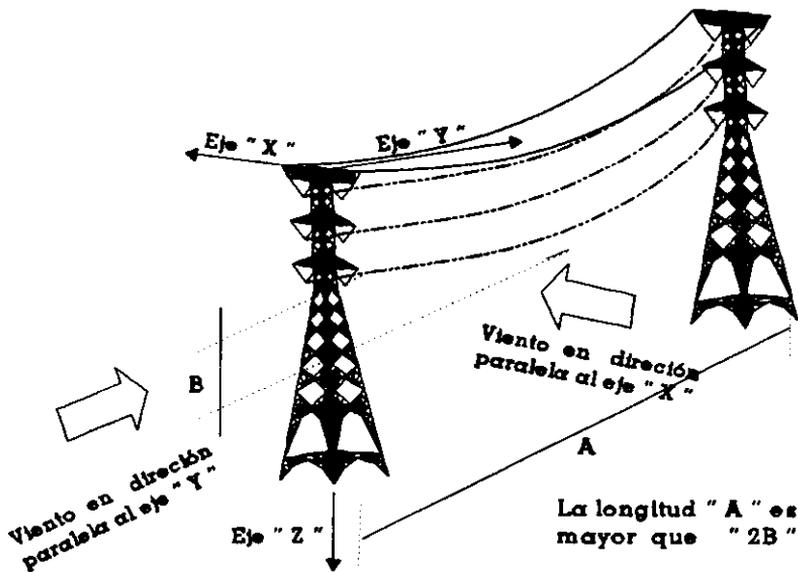
III.2.3 GENERACIÓN DE LOS ELEMENTOS Y DEFINICIÓN DE LOS GRUPOS

- Un elemento es un miembro estructural comprendido entre dos nudos, el cual pertenece a un grupo.

- Un grupo es un conjunto de elementos del mismo tipo, que tienen la misma función dentro de la estructura y que tienen los mismos parámetros (tipo de ángulo, tipo de tornillos, relación de esbeltez, etc.)

III.2.4 CÁLCULO DE ÁREAS TRIBUTARIAS DEBIDO A LA ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA

En estructuras de Transmisión la dirección del viento más desfavorable es la que afecta al sentido transversal paralelo al Eje X, debido a que en esta dirección se presenta el mayor empuje del viento sobre los cables.



En el factor de arrastre que se utiliza para determinar la presión del viento sobre la estructura, ya considera el efecto de barlovento y sotavento aplicado en una cara de la estructura, por esto no se utilizó el cálculo automático del programa ToMAD debido que este consideraría nuevamente estos efectos.

Con el fin de aplicar fuerzas que simulen la acción del viento sobre la estructura está se seccionó en diferentes áreas tributarias, definiéndose bajo el siguiente criterio:

Área A: Abarca de la cruceta de guarda hasta la cruceta intermedia.

Área B: Donde termina la cruceta intermedia hasta la inferior.

Área C: De la cruceta inferior hasta el final del cuerpo recto.

Área D a la J: Se secciono en cada punto donde convergen elementos secundarios.

Área K: Del ultimo punto donde convergen los elementos secundarios hasta el punto empotrado (donde se transmitirán los esfuerzos a la cimentación).

Posteriormente se realizaron los siguientes pasos:

- Se consideró que la presión del viento actúa sobre una cara transversal de la estructura (de acuerdo con la Especificación CFE J1000-50) y esta incide perpendicular a los elementos que la conforman. Para obtener el área expuesta se multiplica la longitud de cada elemento por su ancho (ala) de todos los elementos que se encuentren en cada área determinada.
- Se sumaron todas las áreas de cada perfil para obtener un área por cada sección
- Realizando la semisuma de cada sección se obtuvo el área tributaria de cada nivel
- El área tributaria de cada nivel se dividió entre el numero del nudos donde se aplico las fuerzas debidas al viento en la dirección del eje X.

CÁLCULO DEL ÁREA EXPUESTA DE LA TORRE 4EA2 + 15 + 0

AREA CRUCETA DE GUARDA CON CRUCETA CONDUCTORA

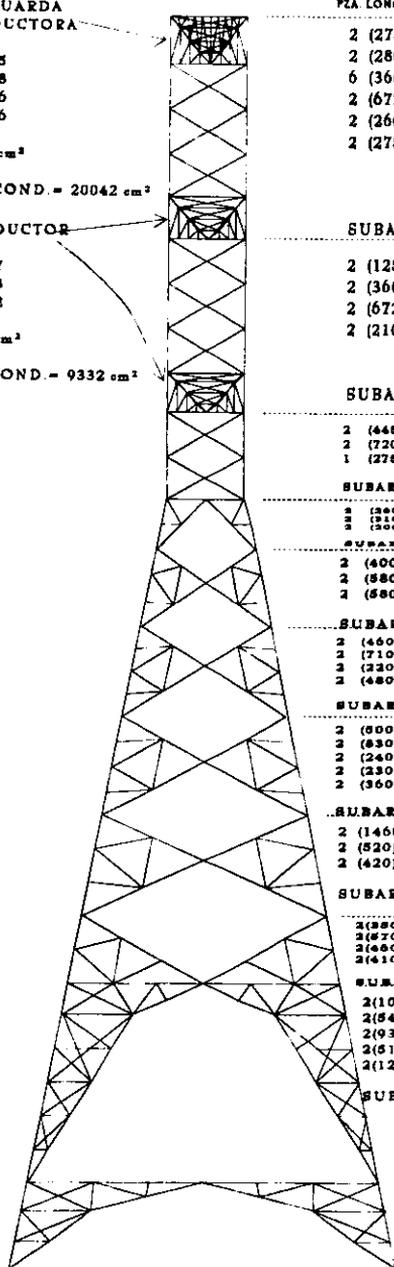
PZA.	LONG.	ANCHO	AREA
2	(3176)	7.6	= 48275
2	(610)	6.4	= 7808
2	(430)	5.1	= 4386
2	(720)	4.4	= 6336

AREA NETA = 66805 cm²
30% DEL AREA NETA
CRUCETA DE GDA.Y COND. = 20042 cm²

AREA CRUCETA CONDUCTOR

PZA.	LONG.	ANCHO	AREA
2	(1486)	7.6	= 22587
2	(240)	5.1	= 2448
2	(690)	4.4	= 6072

SUBAREA B = 31107 cm²
30% DEL AREA NETA
CRUCETA DE GDA.Y COND. = 9332 cm²



PZA.	LONG.	ANCHO	AREA	AREA TRIBUTARIA
2	(275)	7.6	= 4180	38417 cm ²
2	(280)	7.6	= 4256	
6	(360)	6.4	= 13824	
2	(672)	12.7	= 17069	
2	(260)	7.6	= 3952	
2	(275)	7.6	= 4180	
20042 CRUCETA DE GDA. Y COND.				
9332 CRUCETA DE GDA.				
SUBAREA A = 76835				
SUBAREA B = 31107				
SUBAREA C = 24007				
SUBAREA D = 18078				
SUBAREA E = 19485				
SUBAREA F = 30790				
SUBAREA G = 38218				
SUBAREA H = 47436				
SUBAREA I = 28818				
SUBAREA J = 61450				
SUBAREA K = 45512				

III.2.5 PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS

Se determinan los valores constantes que se utilizarán para el análisis del prototipo, y estos son:

- a) Sistema de unidades: dentro del programa se cuenta con una librería de unidades, para la revisión se utilizó el Soft Metric(SM), teniendo las siguientes dimensiones:

CÓDIGO	DIMENSIONES
COORDENADAS	cm
ÁREA TRIBUTARIA EN EL NUDOS	cm ²
FUERZAS	t
PRESIÓN DEL VIENTO	t/cm ²
MÓDULOS DE ELASTICIDAD	t/cm ²
PESO VOLUMÉTRICO	t/cm ³

- b) El programa cuenta con una serie de librerías que contienen las propiedades de perfiles de acero, se utilizó para el análisis la que contiene a los perfiles estándar de acero adecuados del manual del AISC.

- c) Título del análisis

- d) Tipos de tornillos para el prototipo:

DIÁMETRO 1 1.270 cm ϕ mínimo de acuerdo a la especificación CFE J1000-50.

DIÁMETRO 2 1.587 cm ϕ alternativo utilizado en el prototipo.

BOLT SHEAR Esfuerzo cortante 2.9 t/cm², con esto el programa calcula la cantidad de tornillos necesarios considerando cortante simple.

- e) Modulo de elasticidad del acero $E = 2038.902 \text{ t/cm}^2$

III.2.6 PARÁMETROS PARA DISEÑO

Se determinan los valores constantes para diseñar a cada grupo.

GROUP NUMERO DE GRUPO

ANGLE Tipo de ángulo utilizado (nomenclatura del ángulo por ejemplo 45x45x4, implica un ángulo de lados iguales de 45 mm de ancho (ala) por 4 mm de espesor).

STEEL TIPO DE ACERO UTILIZADO

1 = ACERO ESTÁNDAR A36 $f_y = 2.531 \text{ t/cm}^2$

2 = ACERO DE ALTA RESISTENCIA A572 G50 $f_y = 3.520 \text{ t/cm}^2$

SNGL_DBL 0 = ÁNGULO SIMPLE

PARA ÁNGULOS ESPALDA CON ESPALDA, ES NECESARIO DAR LA SEPARACIÓN ENTRE ESTOS EN mm.

EQ_UNEQ 0 = EL PROGRAMA DETERMINA EL PERFIL

1 = DETERMINA PERFIL DE LADOS IGUALES

2 = DETERMINA PERFIL DE LADOS DESIGUALES

Conforme a la Especificación J1000- 50 de CFE, indica que los perfiles que se utilicen para el diseño de estructuras para L. T. deben ser de lados iguales.

BOLT_DIA 0 = EL PROGRAMA DETERMINA EL DIÁMETRO

SE ESPECIFICA EL DIÁMETRO DEL TORNILLO (POR EJEMPLO 1.259 DIÁMETRO DE LOS TORNILLOS)

EF_X LONGITUD DE PANDEO MAYOR (En porcentaje de la longitud real del elemento)

EF_Y LONGITUD DE PANDEO MENOR (En porcentaje de la longitud real del elemento)

Esta longitud depende de las conexiones intermedias que tenga un elemento, a su vez estas restringen el pandeo del elemento.

MEM_CAP_LIMIT LA CAPACIDAD MÁXIMA DEL ELEMENTO (EN PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD)

COMPRESSION CURVES Estas curvas se definen en función de las conexiones en los extremos y de las cargas actuantes en los elementos.

CURVAS DE ASCE ¹

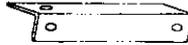
La curva 1 se utiliza para elementos con carga concéntrica en ambos extremos, empernados en ambas caras.



Para este arreglo se determina la relación de esbeltez de acuerdo con:

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} \quad \text{para } 0 \leq \frac{KL}{r} \leq 120$$

La curva 2 se utiliza para elementos con carga concéntrica en un extremo, cuando se tiene un extremo empernado en ambas caras y el otro extremo empernado en una cara.



Para este arreglo se determina la relación de esbeltez de acuerdo con:

$$\frac{KL}{r} = 30 + 0.75 \frac{L}{r} \quad \text{para } 0 \leq \frac{KL}{r} \leq 120$$

La curva 3 se utiliza para elementos con cargas excéntricas en ambos extremos. Cuando se tiene ambos extremos empernados en una cara.



Para este arreglo se determina la relación de esbeltez de acuerdo con:

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0.5 \frac{L}{r} \quad \text{para } 0 \leq \frac{KL}{r} \leq 120$$

Se utiliza la curva 4 para elementos sin restricción contra la rotación en ambos extremos.

Se utiliza la curva 5 para elementos parcialmente restringidos contra la rotación en un extremo.

Se utiliza la curva 6 para elementos parcialmente restringidos contra la rotación en ambos extremos.

¹ Design of Latticed Steel Transmission Structures, ASCE, 9 de diciembre de 1991.

Estas curvas se determinan internamente en el programa ToMAD, para cada tipo de acero y relacionado con su $\frac{KL}{r}$ (relación de esbeltez).

Las curvas se calculan con las siguientes formulas:

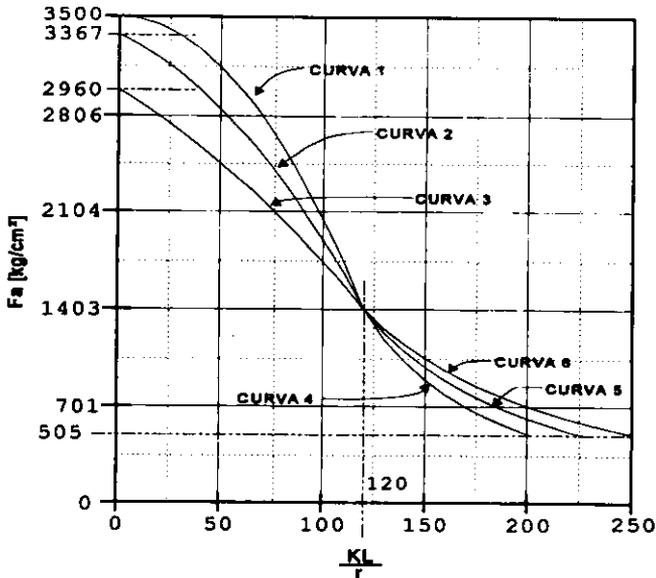
$$F_a = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2 \right] F_y \quad \text{para } \frac{KL}{r} \leq C_c$$

donde $C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}}$

$$F_a = \frac{20203200}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad \text{para } \frac{KL}{r} \geq C_c$$

- K: Factor de longitud efectiva para elementos prismáticos.
- L: Longitud efectiva del elemento.
- r: radio de giro
- F_a: Esfuerzo a compresión para elementos prismáticos.

CURVAS DE COMPRESION ¹



ACERO A572 G50 $f_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$

¹ Design of Latticed Steel Transmission Structures, ASCE, 9 de diciembre de 1991.

- RELACIÓN DE ESBELTEZ PERMISIBLE KL/r ¹

150 para elementos principales

200 para elementos secundarios

250 para elementos redundantes

De acuerdo con la Especificación CFE J1000-50

- DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS ÁNGULOS ESTRUCTURALES ¹

ANCHO 38 mm

ESPESOR 4 mm

De acuerdo con la Especificación CFE J1000-50

III.3 ANÁLISIS

Para el análisis se utilizan métodos denominados exactos, que satisfacen todas las condiciones de equilibrio de fuerzas, compatibilidad de desplazamientos y deformaciones.

El tipo de análisis que utilizan a nivel mundial los Diseñadores de estructuras para Líneas de Transmisión, es el Análisis Elástico Lineal de Primer Orden, este método considera a los elementos estructurales linealmente elásticos, con la capacidad de tomar fuerzas axiales de tensión y de compresión, asumiendo que la configuración de la estructura cargada es idéntica a la configuración de la estructura no cargada, es decir los efectos secundarios o de segundo orden son ignorados.

Las torres autosoportadas presentan un alto grado de hiperestaticidad pero se consideran lo suficientemente rígidas para no realizar un análisis no-lineal de segundo orden.

III.3.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS:

- Desplazamientos máximos en los nudos para cada condición de carga.
- Fuerzas máximas de tensión y compresión para cada elemento en función de la condición de carga.
- Reacciones máximas de los nudos empotrados, que son los puntos donde se descargan los esfuerzos a las cimentaciones, producidos por las solicitaciones y el peso propio de la estructura.
- Comprobación del equilibrio de fuerzas actuantes contra fuerzas resultantes en los puntos donde se descargan los esfuerzos a las cimentaciones.
- Las fuerzas se dan en toneladas y los desplazamientos en centímetros.

Dada la cantidad de nudos y elementos solo se presentan las reacciones para cada caso y la comprobación del equilibrio entre fuerzas actuantes y resultantes.

v95.06

L.T. ESCARCEGA POT - TIGUL II (L2)
 TORRE 4E2A SUSPENSIÓN 0°/450/650
 NIVEL + 15 CON 4 EXTS. +0

REACTIONS -- LINEAR ANALYSIS

JOINT COMP.	L.C. 1	L.C. 2	L.C. 3	L.C. 4	L.C. 5	L.C. 6	L.C. 7	L.C. 8	L.C. 9	L.C. 10	L.C. 11
493 X	-10.14	-11.79	-8.51	-7.99	-9.04	-8.50	-9.90	-8.36	-9.76	-8.22	-3.83
493 Y	-8.69	-10.09	-6.80	-7.33	-7.08	-7.63	-7.10	-7.65	-7.12	-7.67	-2.90
493 Z	-58.10	-67.58	-47.77	-47.80	-50.87	-50.90	-50.05	-50.08	-49.23	-49.26	-21.26
498 X	-7.10	-8.75	-4.53	-4.01	-4.05	-3.51	-4.19	-3.65	-4.33	-3.79	.19
498 Y	5.65	7.04	3.04	3.57	2.49	3.04	2.51	3.06	2.53	3.08	-1.90
498 Z	39.37	48.85	22.66	22.69	18.86	18.89	19.95	19.98	21.04	21.08	-4.10
502 X	-7.10	-8.75	-4.95	-5.47	-5.33	-5.86	-5.19	-5.72	-5.05	-5.58	-.23
502 Y	-5.65	-7.04	-4.29	-3.75	-4.73	-4.18	-4.75	-4.20	-4.77	-4.22	-.35
502 Z	39.37	48.85	29.07	29.04	32.18	32.15	31.36	31.33	30.55	30.51	2.31
506 X	-10.14	-11.79	-7.06	-7.57	-6.41	-6.95	-6.56	-7.09	-6.70	-7.23	-2.37
506 Y	-8.69	-10.09	6.61	6.08	6.22	5.67	6.24	5.69	6.27	6.71	2.71
506 Z	-58.10	-67.58	-41.41	-41.39	-37.62	-37.59	-38.72	-38.69	-39.82	-39.78	-14.91

REACTIONS -- LINEAR ANALYSIS

JOINT COMP.	L.C. 12	L.C. 13	L.C. 14	L.C. 15	L.C. 16	L.C. 17	L.C. 18	L.C. 19	L.C. 20	L.C. 21	L.C. 22
493 X	-4.35	-4.21	-4.07	-9.04	-7.37	-7.23	-7.08	-3.12	-3.64	-3.50	-3.36
493 Y	-3.29	-3.29	-3.30	-7.07	-5.20	-5.23	-5.24	-1.95	-2.34	-2.34	-2.35
493 Z	-24.74	-23.81	-22.88	-47.11	-38.10	-37.27	-36.45	-14.80	-18.27	-17.35	-16.42
498 X	-1.69	-1.55	-1.41	-6.69	-3.05	-3.19	-3.33	-.22	-.72	-.58	-.44
498 Y	-1.35	-1.35	-1.34	-4.71	1.29	1.31	1.33	-1.17	-1.62	-1.62	-1.61
498 Z	-7.63	-6.64	-5.65	33.01	10.71	11.80	12.90	-5.93	-9.47	-8.48	-7.48
502 X	-.69	-.55	-.41	-6.69	-4.33	-4.19	-4.05	-.20	-.66	-.52	-.38
502 Y	-.78	-.78	-.79	-4.71	-3.53	-3.55	-3.57	-.08	-.51	-.51	-.52
502 Z	5.69	4.77	3.84	33.01	24.03	23.21	22.40	1.48	3.65	2.93	2.01
506 X	-1.83	-1.97	-2.11	-9.04	-4.74	-4.88	-5.02	-1.66	-1.12	-1.26	-1.40
506 Y	2.32	2.33	2.33	7.07	4.34	4.37	4.39	1.76	1.37	1.38	1.38
506 Z	-11.48	-12.47	-13.47	-47.11	-24.84	-25.94	-27.04	-8.45	-5.01	-6.01	-7.00

REACTIONS -- LINEAR ANALYSIS

EQUILIBRIUM CHECK -- APPLIED LOADS VS. CALCULATED REACTIONS

JOINT COMP.	L.C. 1	L.C. 2	L.C. 3	L.C. 4	L.C. 5	L.C. 6	L.C. 7	L.C. 8	L.C. 9	L.C. 10
X INPUT	34.48	41.07	25.05	25.05	24.83	24.83	24.83	24.83	24.83	24.83
X OUTPUT	34.48	41.07	25.05	25.05	24.83	24.83	24.83	24.83	24.83	24.83
X PERCENT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Y INPUT	.00	.00	1.43	1.43	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
Y OUTPUT	.00	.00	1.43	1.43	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09
Y PERCENT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Z INPUT	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46
Z OUTPUT	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46	37.46
Z PERCENT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
X INPUT	6.24	6.18	6.18	6.18	31.43	19.49	19.49	19.49	4.76	4.71
X OUTPUT	6.24	6.18	6.18	6.18	31.43	19.49	19.49	19.49	4.76	4.71
X PERCENT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Y INPUT	1.43	3.09	3.09	3.09	.00	3.10	3.10	3.10	1.43	3.09
Y OUTPUT	1.43	3.09	3.09	3.09	.00	3.09	3.09	3.09	1.43	3.09
Y PERCENT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Z INPUT	37.96	38.16	38.16	38.16	28.20	28.20	28.20	28.20	28.70	28.90
Z OUTPUT	37.96	38.16	38.16	38.16	28.20	28.20	28.20	28.20	28.70	28.90
Z PERCENT	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
X INPUT	4.71	4.71								
X OUTPUT	4.71	4.71								
X PERCENT	.00	.00								
Y INPUT	3.09	3.09								
Y OUTPUT	3.09	3.09								
Y PERCENT	.00	.00								
Z INPUT	28.90	28.90								
Z OUTPUT	28.90	28.90								
Z PERCENT	.00	.00								

III.4 DISEÑO

Con el programa se diseñó cada grupo de elementos partiendo de los esfuerzos máximos obtenidos en el análisis, considerando los parámetros establecidos para diseño. Se realizó el diseño del prototipo para tener una base de comparación con el modelo del prototipo propuesto.

El diseño de un elemento se puede realizar por efectos de tensión, compresión, flexión, torsión o una combinación de ellos, de tal forma que dichos elementos mecánicos no rebasen valores límites.

Para dimensionar elementos estructurales se adoptan las recomendaciones dadas en The Guide for Design of Steel Transmission Towers del ASCE, que hace algunas adecuaciones a las fórmulas de la AISC para columnas sujetas a carga axial de compresión para fabricación y montaje de edificios a base de estructuras de acero.

De acuerdo con investigaciones del Colum Research Council, las fallas en miembros estructurales pueden ser por:

Pandeo general de los elementos

Pandeo local de los elementos

En el caso de torres, el concepto de columna se aplica a cualquier elemento estructural recto sujeto a una carga axial de compresión.

La capacidad de carga en una columna es inversamente proporcional a su relación de esbeltez $\frac{KL}{r}$, es necesario mantener este valor tan bajo como sea posible para no reducir su capacidad a compresión debido al fenómeno de

pandeo, de esta forma para una longitud dada, la sección transversal deberá tener un radio de giro lo mas alto posible.

PANDEO

Se define como pandeo a la pérdida repentina de resistencia que acompaña la aparición de fuertes deformaciones, independientemente de que los esfuerzos hayan o no llegado al punto de fluencia.

Una vez iniciado el pandeo los desplazamientos laterales provocan que los esfuerzos crezcan rápidamente y se llegue pronto al intervalo inelástico, presentándose la falla del elemento.

El fenómeno de pandeo no es un problema de resistencia, sino de estabilidad, por esta razón las fórmulas originales que representan este fenómeno se refiere a cargas críticas no a esfuerzos, sin embargo, por razones prácticas estas cargas se traducen a esfuerzos.

III.4.1 RESULTADOS DEL DISEÑO:

Se diseña cada grupo de elementos de acuerdo con los parámetros fijados, en caso de que algún elemento no cumpla el programa propone otro perfil, indicando la causa por la que no cumplió el perfil original, por ejemplo: falla a compresión, tensión, relación de esbeltez, etc.

a) Genera una tabla resumen del diseño con la siguiente información:

- Numero de grupo.
- Esfuerzo a tensión, caso que lo genera.

- Esfuerzo a compresión, caso que lo genera.
- Tipo de perfil que define al grupo.
- Tipo de acero del perfil que define al grupo.
- Área neta.
- Longitud de los elementos.
- Relación de esbeltez $\frac{KL}{r}$.
- Esfuerzo máximo a tensión.
- Esfuerzo máximo a compresión.
- Capacidad de los elementos (tensión y compresión).
- Capacidad de los tornillos al cortante.
- Diámetro.
- Números de tornillos.
- Diámetro de los tornillos.
- Porcentaje de trabajo de cada grupo.
- Porcentaje del uso a compresión de cada grupo de elementos

b) Resumen de pesos:

- Peso total del prototipo.
- Peso y longitud total de cada perfil utilizado tanto en acero estándar como en alta resistencia.
- Peso y diámetro total de los tornillos seleccionados.
- Peso total por galvanizado.

Las longitudes se dan en [cm], las fuerzas en [t], y los esfuerzos en [t/cm²].

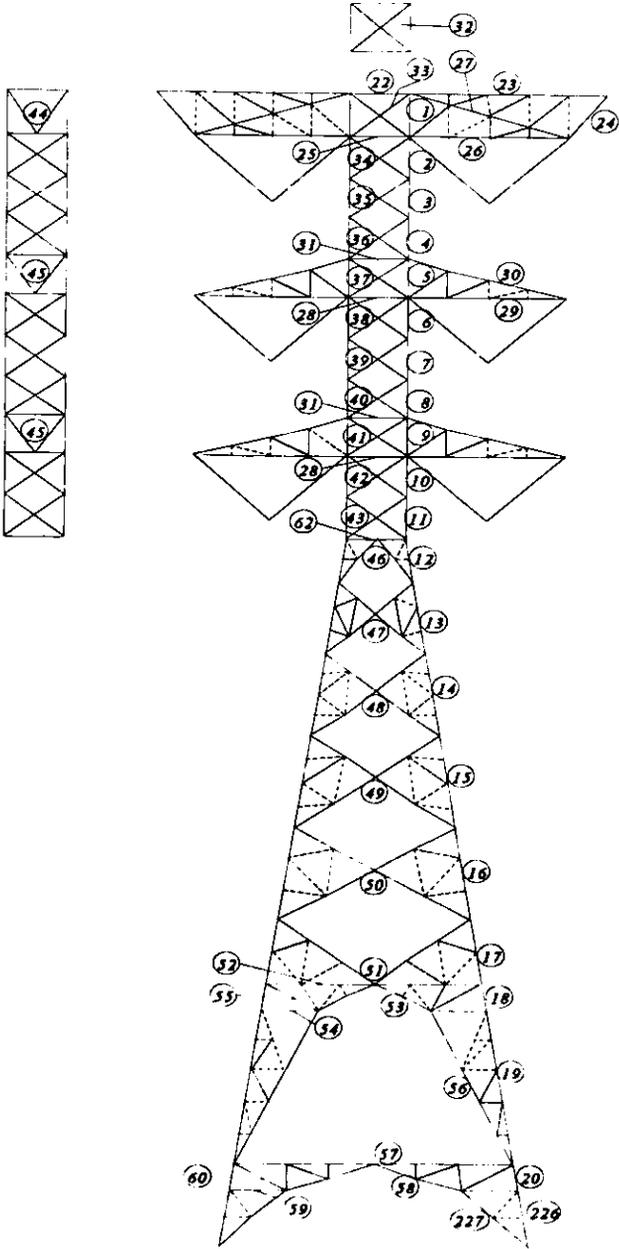
TABLE DE DISEÑO PARA EL PROTOTIPO

GRP	FOROS			SECTION SIZES	APROS		COVERING R/L/R	C		STRESS		SECTION		BOLTCAP		BOLT		U NOTES					
	COMR-IC	TENSI-IC	LC		SIDEEL	GROSS		NET	LGTH	V	E	F _{CL}	F _{Pa}	COMER-TENSI	BEAR	SHEAR	HD		DIA-RQ	EQ			
1	2.978	19	1.652	19	L	76x76x5	3.515	7.032	5.691	240.0	2.385	100.6	1	3.112	1.894	13.32	20.01	4.286	3.741	2	1.270	1	22
2	6.198	19	2.664	19	L	76x76x5	3.515	7.032	5.020	224.0	1.514	148.0	4	3.112	0.919	6.464	17.65	6.429	8.416	2	1.905	1	96
3	6.907	19	3.473	20	L	76x76x5	3.515	7.032	4.685	224.0	2.385	93.92	1	3.112	2.051	14.42	16.83	7.501	11.46	2	2.223	1	48
4	9.651	6	5.369	5	L	76x76x5	3.515	7.032	5.356	224.0	2.385	93.92	1	3.112	2.051	14.42	16.83	10.71	11.69	2	2.587	2	68
5	14.84	6	7.423	5	L	127x127x8	3.515	19.55	16.24	210.0	2.525	83.17	1	3.062	2.256	44.11	57.08	21.16	16.83	2	2.905	2	34
6	16.81	6	8.777	5	L	127x127x8	3.515	19.55	16.24	224.0	2.525	86.71	1	3.062	2.145	41.94	57.08	21.16	16.83	2	2.905	2	40
7	25.38	2	16.52	2	L	127x127x8	3.515	19.55	15.69	224.0	2.525	86.71	1	3.062	2.145	41.94	55.14	37.03	34.37	2	2.223	3	61
8	31.82	2	23.43	2	L	127x127x8	3.515	19.55	15.69	224.0	2.525	86.71	1	3.062	2.145	41.94	55.14	37.03	34.37	2	2.223	3	76
9	39.71	2	27.94	2	L	127x127x10	3.515	23.29	18.64	210.0	2.515	83.50	1	3.515	2.445	56.94	65.54	59.38	45.82	2	2.223	4	70
10	48.51	2	35.68	2	L	127x127x10	3.515	23.29	18.64	222.5	2.515	86.47	1	3.515	2.314	53.89	65.54	74.22	57.28	2	2.223	5	90
11	57.41	2	44.97	2	L	127x127x10	3.515	23.29	18.64	222.5	3.962	56.16	1	3.515	3.031	70.60	65.54	89.07	68.73	2	2.223	6	81
12	65.60	2	52.44	2	L	127x127x10	3.515	23.29	18.64	129.3	2.515	51.39	1	3.515	3.100	70.60	65.54	89.07	68.73	2	2.223	6	91
13	62.82	2	49.38	2	L	127x127x10	3.515	23.29	18.64	132.7	2.515	52.74	1	3.515	3.060	71.93	65.54	89.07	68.73	2	2.223	6	87
14	61.90	2	48.10	2	L	127x127x10	3.515	23.29	18.64	156.6	2.515	62.27	1	3.515	2.988	68.01	65.54	89.07	68.73	2	2.223	6	91
15	61.92	2	47.59	2	L	127x127x10	3.515	23.29	18.64	170.2	2.515	67.69	1	3.515	2.812	65.49	65.54	89.07	68.73	2	2.223	6	95
16	62.94	2	47.59	2	L	127x127x11	3.515	26.97	21.54	170.2	2.504	67.98	1	3.515	2.806	75.67	75.72	104.1	68.73	2	2.223	6	83
17	63.96	2	48.21	2	L	127x127x11	3.515	26.97	21.54	178.7	2.504	71.38	1	3.515	2.733	73.70	75.72	104.1	68.73	2	2.223	6	87
18	62.71	2	46.73	2	L	127x127x11	3.515	26.97	21.54	153.2	2.504	61.19	1	3.515	2.941	79.30	75.72	104.1	68.73	2	2.223	6	79
19	63.22	2	46.61	2	L	127x127x11	3.515	26.97	21.54	173.6	2.504	69.35	1	3.515	2.777	74.89	75.72	104.1	68.73	2	2.223	6	84
20	66.31	2	48.62	2	L	127x127x11	3.515	26.97	21.54	153.2	2.504	61.19	1	3.515	2.941	79.30	75.72	104.1	68.73	2	2.223	6	84
22	1.672	12	4.854	11	L	76x76x5	2.531	7.032	5.859	275.0	1.514	181.6	4	2.531	0.610	4.289	13.35	5.400	11.46	2	1.270	1	39
23	4.818	3	5.470	19	L	76x76x5	2.531	7.032	5.691	183.0	1.514	120.9	4	2.531	1.369	9.624	14.40	5.400	11.46	2	2.223	1	50
24	1.196	11	0.000	0	DL	76x76x5	2.531	14.06	12.72	299.1	2.385	125.4	4	2.531	1.279	17.99	32.20	3.086	3.741	2	1.270	1	7
25	5.155	11	4.523	12	L	76x76x5	2.531	7.032	5.020	275.0	2.385	115.3	2	2.531	1.451	10.21	12.71	5.400	11.46	2	2.223	1	51
26	8.758	5	1.058	16	L	76x76x5	2.531	7.032	5.691	184.7	1.514	122.0	4	2.531	1.346	9.467	14.40	9.258	16.83	2	1.905	2	93
27	2.525	16	3.703	5	L	76x76x5	2.531	7.032	5.356	194.2	1.514	128.3	4	2.531	1.223	8.988	13.56	3.857	5.845	2	1.587	1	29
28	4.136	8	4.811	7	L	76x76x5	2.531	7.032	4.685	275.0	2.385	115.3	2	2.531	1.451	10.21	11.86	5.400	11.46	2	2.223	1	41
29	8.851	7	0.895	16	L	76x76x5	2.531	7.032	5.020	184.7	1.514	122.0	4	2.531	1.346	9.467	12.71	9.258	16.83	2	1.905	2	93
30	0.802	16	6.448	18	L	76x76x5	2.531	7.032	5.356	192.0	1.514	126.8	4	2.531	1.251	8.795	13.56	7.715	11.69	2	1.587	2	48
31	1.950	2	3.908	13	L	76x76x5	2.531	7.032	6.026	275.0	1.514	181.6	4	2.531	0.610	4.289	13.73	4.629	8.416	1	1.905	1	45
32	0.304	17	1.093	11	L	51x51x4	2.531	3.871	3.312	194.5	1.006	193.3	4	2.531	0.539	2.085	7.545	2.572	3.741	1	1.270	1	15
33	2.698	19	2.889	19	L	51x51x4	2.531	4.613	3.942	182.5	1.001	182.3	4	2.531	0.605	2.793	8.981	3.086	3.741	1	1.270	1	97
34	4.461	5	3.775	5	L	64x64x4	2.531	4.883	4.045	177.3	1.262	140.5	4	2.531	0.119	4.976	9.214	4.500	11.46	2	2.223	1	90
35	3.845	5	4.531	5	L	64x64x4	2.531	4.883	3.905	177.3	1.262	140.5	4	2.531	0.109	4.976	8.896	4.500	11.46	2	2.223	1	77
36	4.602	5	3.915	5	L	64x64x4	2.531	4.883	3.905	177.3	1.262	140.5	4	2.531	0.119	4.976	8.896	4.500	11.46	2	2.223	1	92
37	2.659	20	2.789	20	L	55x55x4	2.531	4.260	3.561	173.0	1.080	160.2	4	2.531	0.784	3.341	8.113	3.214	5.845	1	1.587	1	80
38	6.204	5	5.732	2	L	76x76x5	2.531	7.032	6.361	177.3	1.514	117.1	3	2.531	1.412	9.931	14.49	7.715	11.69	2	1.587	2	62
39	5.884	2	6.298	5	L	76x76x5	2.531	7.032	6.194	177.3	1.514	117.1	3	2.531	1.412	9.931	14.11	7.715	11.69	2	1.587	2	59
40	6.392	5	6.036	2	L	76x76x5	2.531	7.032	6.361	177.3	1.514	117.1	3	2.531	1.412	9.931	14.49	7.715	11.69	2	1.587	2	64
41	4.014	5	2.929	20	L	64x64x4	2.531	4.883	4.045	173.0	1.262	137.1	4	2.531	0.171	5.228	9.214	4.500	11.46	2	2.223	1	79
42	8.899	2	8.580	2	L	76x76x5	2.531	7.032	6.026	176.9	1.514	116.8	3	2.531	1.415	9.951	13.73	9.258	16.83	1	1.905	2	89
43	8.737	2	9.057	2	L	76x76x5	2.531	7.032	6.026	176.9	1.514	116.8	3	2.531	1.415	9.951	13.73	9.258	16.83	1	1.905	2	87
44	1.044	5	2.395	4	L	76x76x5	2.531	7.032	6.361	276.6	1.514	182.7	4	2.531	0.603	4.240	14.49	4.086	3.741	1	1.270	1	25
45	3.663	17	4.471	8	L	76x76x5	2.531	7.032	6.026	251.0	1.514	165.8	4	2.531	0.732	5.148	13.73	4.629	8.416	1	1.905	1	71
46	5.051	5	5.014	5	L	76x76x5	2.531	7.032	5.859	309.8	2.385	129.9	4	2.531	1.193	8.387	13.35	5.400	11.46	2	2.223	1	60
47	2.737	16	2.714	5	L	76x76x5	2.531	7.032	6.361	424.9	2.385	178.1	4	2.531	0.634	4.459	14.49	4.086	3.741	1	1.270	1	31
48	2.006	5	1.957	16	L	89x89x6	2.531	10.90	10.01	529.9	2.769	191.4	4	2.531	0.550	5.992	22.80	4.114	3.741	1	1.270	1	63
49	1.591	16	1.542	16	L	102x102x6	2.531	12.52	11.62	631.3	3.175	198.8	4	2.524	0.509	6.370	26.47	4.114	3.741	1	1.270	1	125
50	1.560	16	1.481	16	L	102x127x8	2.531	19.55	18.44	722.6	3.988	181.2	4	2.514	0.613	11.98	42.02	5.079	3.741	1	1.270	1	13
51	1.691	16	1.651	16	L	127x127x8	2.531	12.52	11.62	570.0	3.175	179.5	4	2.524	0.624	7.815	26.47	4.114	3.741	1	1.270	1	25
52	3.333	15	3.316	15	L	64x64x4	2.531	4.883	4.324	166.7	1.262	132.1	4	2.531	1.153	5.631	9.850	5.143	7.481	1	1.270	2	59
53	5.553	15	5.301	15	L	64x64x4	2.531	7.032	5.859	301.4	2.385	126.4	4	2.531	1.260	8.862	13.35	5.400	11.46	2	2.223	1	63
54	0.043	2	0.000	0	L	76x76x5	2.531	7.032	6.361	260.0	1.514	171.7	4	2.531	0.682	4.798	14.49	4.086	3.741	1	1.270	1	1
55	3.175	15	3.222	15	L	76x76x5	2.531	7.032	6.194	282.1	1.514	186.3	4	2.531	0.579	4.075	14.11	3.857	5.845	1	1.587	1	78
56	4.994	15	4.778	15	L	89x89x6	2.531	7.032	5.859	188.3	1.514	124.4	4	2.531	1.300	9.141	13.35	5.400	11.46	2			

FORCES SECTION AREAS GOVERNING C U
 GRP CORR-IC TENS-IC SIZES STEEL GRADES NET LGTH R L/R E V STRESS Pa COMER-TENS CAP BOLT CAP BOLT S
 E NOTES

79	0.239	4	0.198	11	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	206.3	0.876	235.4	4	2.531	0.363	1.223	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	20
80	0.245	3	0.250	4	L	56x56x4	2.531	4.883	4.324	257.1	1.262	203.7	4	2.531	0.485	2.369	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	10
81	0.161	4	0.027	19	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	137.5	0.876	157.0	4	2.531	0.817	2.751	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	6
82	0.145	3	0.152	4	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	217.2	0.876	247.9	4	2.531	0.327	1.102	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	13
83	0.161	2	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	68.75	0.876	78.48	3	2.531	1.747	5.885	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	3
84	3.112	3	0.941	4	L	76x76x5	2.531	7.032	6.361	257.9	1.514	170.4	4	2.531	0.693	4.876	16.10	3.086	3.741	1	1.270	1	64
85	0.158	4	1.678	3	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	180.0	0.876	205.5	4	2.531	0.477	1.605	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	24
86	3.027	3	0.344	4	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	220.3	1.262	174.5	4	2.531	0.660	3.225	10.94	3.214	5.845	1	1.587	1	94
87	0.000	0	0.841	3	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	120.0	0.876	137.0	4	2.531	1.072	3.612	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	12
88	2.641	3	0.000	0	L	66x66x4	2.531	4.883	4.184	194.2	1.262	153.9	4	2.531	0.850	4.148	10.59	3.214	5.845	1	1.587	1	64
89	0.000	0	0.018	3	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	60.00	0.876	68.49	3	2.531	1.824	6.144	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
90	0.000	2	0.000	21	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	301.4	1.262	238.8	4	2.531	0.353	1.723	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	0
91	0.000	20	0.000	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	206.3	0.876	235.4	4	2.531	0.363	1.223	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
92	0.000	2	0.000	19	L	51x51x4	2.531	3.871	3.312	250.0	1.006	248.5	4	2.531	0.326	1.262	8.383	2.572	3.741	1	1.270	1	0
93	0.000	0	0.000	16	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	137.5	0.876	157.0	4	2.531	0.817	2.751	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
94	0.000	20	0.000	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	208.8	0.876	238.3	4	2.531	0.354	1.193	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
95	0.000	2	0.000	5	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	68.75	0.876	78.48	3	2.531	1.747	5.885	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
96	0.000	7	0.000	8	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	301.4	1.262	238.8	4	2.531	0.353	1.723	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	0
97	0.000	2	0.000	21	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	206.3	0.876	235.4	4	2.531	0.363	1.223	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
98	0.000	0	0.000	2	L	51x51x4	2.531	3.871	3.312	250.0	1.006	248.5	4	2.531	0.326	1.262	8.383	2.572	3.741	1	1.270	1	0
99	0.000	1	0.000	20	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	137.5	0.876	157.0	4	2.531	0.817	2.751	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
100	0.000	0	0.000	1	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	208.8	0.876	238.3	4	2.531	0.354	1.193	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
101	0.000	7	0.000	12	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	68.75	0.876	78.48	3	2.531	1.747	5.885	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
102	0.113	1	0.000	0	L	51x51x4	2.531	3.871	3.312	242.8	1.006	241.3	4	2.531	0.346	1.338	8.383	2.572	3.741	1	1.270	1	8
103	0.000	0	0.070	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	157.5	0.876	179.8	4	2.531	0.623	2.097	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	1
104	0.087	2	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	212.5	0.876	242.6	4	2.531	0.342	1.152	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	8
105	0.000	0	0.041	22	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	105.0	0.876	119.9	3	2.531	1.386	4.669	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	1
106	0.064	1	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	192.0	0.876	219.2	4	2.531	0.419	1.410	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	5
107	0.000	0	0.017	1	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	52.50	0.876	59.99	3	2.531	1.887	6.355	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
108	0.000	2	0.000	20	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	305.9	1.262	242.4	4	2.531	0.342	1.672	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	0
109	0.000	20	0.000	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	206.3	0.876	235.4	4	2.531	0.363	1.223	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
110	0.000	2	0.000	12	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	255.4	1.262	202.4	4	2.531	0.491	2.399	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	0
111	0.000	5	0.000	1	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	137.5	0.876	157.0	4	2.531	0.817	2.751	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
112	0.000	20	0.000	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	215.3	0.876	245.7	4	2.531	0.333	1.122	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
113	0.000	2	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	68.75	0.876	78.48	3	2.531	1.747	5.885	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
114	1.310	4	2.619	4	L	44x44x4	2.531	3.368	2.669	120.0	0.876	137.0	4	2.531	1.072	3.612	6.757	3.214	5.845	1	1.587	1	39
115	2.239	2	0.234	15	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	99.86	0.876	114.0	3	2.531	1.442	4.855	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	1
116	3.063	2	0.322	15	L	44x44x4	2.531	3.368	2.669	105.3	0.876	120.2	4	2.531	1.381	4.652	6.757	3.214	5.845	1	1.587	1	66
117	1.361	2	1.354	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	120.0	0.876	137.0	4	2.531	1.072	3.612	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	38
118	1.821	2	1.820	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	99.86	0.876	114.0	3	2.531	1.442	4.855	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	38
119	2.508	2	2.507	2	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	105.3	0.876	120.2	4	2.531	1.381	4.652	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	38
143	0.200	15	0.129	15	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	168.2	1.262	133.3	4	2.531	1.132	5.528	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	54
144	28-6	14	20E-6	15	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	178.3	0.876	203.5	4	2.531	0.486	1.637	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
145	19E-6	15	1E-6	14	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	84.12	0.876	96.03	3	2.531	1.602	5.397	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	18
146	0.326	15	0.332	15	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	168.9	0.876	192.8	4	2.531	0.541	1.823	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
147	0.000	0	0.042	2	L	51x51x3	2.531	3.123	2.676	251.0	1.011	248.3	4	2.531	0.326	1.019	6.773	2.057	3.741	1	1.270	1	1
148	0.043	2	0.000	0	L	44x44x3	2.531	2.723	2.276	208.0	0.861	236.1	4	2.531	0.361	0.983	5.761	2.057	3.741	1	1.270	1	1
149	0.000	0	0.050	2	L	44x44x3	2.531	2.723	2.276	216.1	0.861	245.2	4	2.531	0.335	0.911	5.761	2.057	3.741	1	1.270	1	1
150	0.027	2	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	156.0	0.876	178.1	4	2.531	0.635	2.137	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	1
151	0.016	2	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	104.0	0.876	118.7	3	2.531	1.397	4.706	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
152	0.517	15	0.457	15	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	294.2	1.262	233.1	4	2.531	0.370	1.009	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	29
153	0.363	15	0.395	15	L	51x51x4	2.531	3.871	3.312	220.6	1.006	219.3	4	2.531	0.418	1.620	8.383	2.572	3.741	1	1.270	1	122
154	***	15	0.000	0	L	66x66x4	2.531	4.883	4.324	260.6	1.262	206.5	4	2.531	0.472	1.305	10.94	2.572	3.741	1	1.270	1	0
155	0.004	15	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	147.1	0.876	167.9	4	2.531	0.714	2.404	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
156	0.001	4	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	215.1	0.876	245.6	4	2.531	0.334	1.124	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	0
157	0.117	15	0.000	0	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	151.8	0.876	173.2	4	2.531	0.671	2.258	7.110	2.572	3.741	1	1.270	1	5
158	3E-6	16	2E-6	10	L	44x44x4	2.531	3.368	2.809	210.8	0.876	240.7	4	2.									

IDENTIFICACIÓN DE LOS GRUPOS.



LISTA DE MATERIALES, 4EA2

<----- ACERO ESTANDAR MS ----->

SECTION	PRICE	AREA	NO. MEMB	TOTAL LENGTH	TOTAL WEIGHT	TOTAL SURFACE AREA	TOTAL COAT. WEIGHT
44x44x3	440.92	2.72	32	6296.935	0.135	112085.437	0.008
51x51x3	440.92	3.12	8	2008.154	0.049	40805.680	0.003
44x44x4	440.92	3.37	308	46443.675	1.230	826697.423	0.058
51x51x4	440.92	3.87	80	19111.410	0.582	388343.855	0.027
55x55x4	440.92	4.26	4	1384.052	0.046	30449.144	0.002
51x51x5	440.92	4.61	4	1460.000	0.053	29667.200	0.002
64x64x4	440.92	4.88	114	29997.499	1.151	761936.486	0.054
70x70x5	440.92	6.84	16	2411.057	0.130	67509.606	0.005
76x76x5	440.92	7.03	334	78832.810	4.358	2402824.045	0.170
76x76x6	440.92	9.29	8	2259.047	0.165	68855.767	0.005
89x89x6	440.92	10.90	48	14292.706	1.225	508248.608	0.036
102x102x6	440.92	12.52	16	11293.753	1.111	458978.117	0.032
127x127x8	440.92	19.55	8	7707.587	1.184	391545.419	0.028
TOTALS:				223498.685	11.419	6087946.787	0.431

<----- ACERO DE ALTA RESISTENCIA HT ----->

SECTION	PRICE	AREA	NO. MEMB	TOTAL LENGTH	TOTAL WEIGHT	TOTAL SURFACE AREA	TOTAL COAT. WEIGHT
76x76x5	485.02	7.03	16	3648.000	0.202	111191.040	0.008
127x127x8	485.02	19.55	16	3528.000	0.542	179222.400	0.013
127x127x10	485.02	23.29	28	9169.651	1.679	465818.267	0.033
127x127x11	485.02	26.97	44	9397.022	1.992	477368.694	0.034
TOTALS:				25742.672	4.415	1233600.401	0.087

<----- ACERO ESPECIAL XX ----->

SECTION	PRICE	AREA	NO. MEMB	TOTAL LENGTH	TOTAL WEIGHT	TOTAL SURFACE AREA	TOTAL COAT. WEIGHT
TOTALS:				0.000	0.000	0.000	0.000

PESO DEL MATERIAL = 15.834
 AREA A GALVANIZAR = 7321547.188
 PESO DEL GALVANIZADO = 0.518
 PRECIO TOTAL = 221676.000

DESEÑO

REQUERIMIENTOS APPROX.

PESO MS = 11.419
 PESO HT = 4.415
 PESO XX = 0.000
 PESO TOTAL 15.834

TORNILLOS 1.270 = 3972
 TORNILLOS 1.587 = 1306
 TORNILLOS 1.905 = 936
 TORNILLOS 2.223 = 648

IV. OTROS ASPECTOS DE LA INGENIERÍA

IV.1 CIMENTACIONES

Para el diseño de las cimentaciones se requieren conocer las propiedades del suelo con el fin de evaluar los parámetros de resistencia que permitan realizar el análisis de estabilidad y diseño de la cimentación, también es necesario conocer las propiedades de los materiales de relleno que gravitan sobre ellas y del terreno natural circundante por encima del nivel de desplante de la cimentación.

IV.1.1 ALTERNATIVAS DE CIMENTACIÓN

De forma general las cimentaciones se dividen en superficiales y profundas, las primeras pueden ser zapatas aisladas o corridas, zapatas aisladas ligadas con contratraveses, losas, pilas cortas y pilones, zapatas ancladas en roca y cimentaciones a base de parrillas metálicas (estas no se utilizan debido a que se corroen a través del tiempo); las segundas pueden ser pilas o pilotes.

Se conoce como cimentaciones superficiales aquellas que se desplantan a una profundidad no mayor de 5.0 m, aunque las pilas podrían llegar hasta 7.0 m. Se emplean en suelos con capacidad de carga igual o menor de 3.0 t/m².

Las cimentaciones profundas se emplean cuando se requiere transferir la carga a estratos más profundos debido a que los estratos superiores del subsuelo no tienen la suficiente resistencia al corte, éstos son altamente compresibles o susceptibles a la licuación ante cargas dinámicas.

IV.1.2 CIMENTACIONES ESPECIALES

Debido a las condiciones topográficas de los sitios en donde se desplantan algunas estructuras de L. de T., ya que su difícil acceso para la maquinaria y materiales, obliga a diseñar cimentaciones muy particulares.

IV.2 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS Y DE MECÁNICA DE SUELOS

Algunos problemas de inestabilidad de las masas de suelo como son los deslizamientos y erosión de taludes generalmente están asociadas a estructuras geológicas y a pendientes muy pronunciadas del terreno. Para tener en cuenta estos factores, se requiere de estudios geotécnicos, de mecánica de suelos y es necesario tener topografía detallada del lugar, esta permitirá identificar los cruces con arroyos y ríos para prever y resolver problemas de inundación y socavación, también es importante localizar las partes bajas o depresiones que generalmente son zonas inundables.

Adicionalmente la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos está asociada al contenido de agua que poseen en su estructura, de tal forma que a mayor cantidad de agua menor resistencia al esfuerzo cortante y mayor inestabilidad de las masas de suelos; resulta así fundamental el conocimiento del comportamiento del agua, tanto en el interior del suelo, como en la superficie donde provoca como se menciono erosión y socavación en diversas estructuras civiles.

Como se detalló en capítulos anteriores, en las Líneas de Transmisión el diseño de las estructuras se rige por la acción del viento y no por eventos sísmicos, sin embargo ante la acción de un sismo este afecta a los suelos reduciendo su resistencia al esfuerzo cortante debido a la generación de presión de poro en suelos sumergidos o por amplificaciones de las ondas Sísmicas en suelos blandos, pero la licuación de arenas finas uniformes saturadas es la que causa mayor problema en las cimentaciones de las estructuras.

IV.2.1 EXPLORACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS

Para lograr diseños de cimentaciones seguras y funcionales, se requiere del conocimiento de las propiedades índice y mecánicas de los materiales que les servirán de apoyo, por lo que es necesario explorar y hacer un muestreo de los suelos a lo largo de la trayectoria de la L. T.

La exploración consiste en realizar una visita preliminar al campo recorriendo toda la trayectoria de la Línea con el fin de identificar las formaciones geológicas, y realizar muestreos superficiales y/o profundos con el fin de conocer las propiedades de los subsuelos.

Los sondeos superficiales consisten en realizar pozos a cielo abierto en suelos firmes y pocos compresibles y los sondeos profundos por medio de penetración estándar o de cono eléctrico en suelos blandos y de baja resistencia, la cantidad y tipo de sondeo depende de la variación del tipo del terreno.

Las muestras obtenidas de los suelos se estudian en laboratorio para obtener sus propiedades que permitan establecer el comportamiento mecánico de los materiales de cimentación. Con la información de campo y laboratorio, se construyen los perfiles estratigráficos a partir de los cuales se elige el tipo de cimentación más adecuado para cada estructura.

IV.2.2 PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas índice comúnmente solicitadas son; granulometría, límites de plasticidad, contenido natural de agua, peso específico relativo de sólidos y peso específico natural, en tanto que las pruebas mecánicas son compresión simple,

compresión triaxial no consolidada no drenada (triaxial rápida) y de consolidación, está última solo para el caso de suelos altamente compresibles y cuando es necesario limitar los asentamientos.

IV.2.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES

Para el análisis y diseño de las cimentaciones se debe cuidar dos aspectos fundamentales:

- a) Que la presión transmitida al suelo no rebase la resistencia al esfuerzo cortante de éste, para no provocar una falla de la estructura. Para lo cual se consideran los efectos de: Cargas Permanentes mas Cargas Variables mas Cargas Accidentales que actúan en la estructura en cualquier instante de su vida útil.
- b) Que la presión transmitida no induzca deformaciones excesivas al suelo provocando un mal funcionamiento de la estructura. Se consideran las Cargas Permanentes ya que con éstas provocan las deformaciones más importantes en los suelos al paso del tiempo.

Para garantizar que no se rebase la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos para cimentación, se evalúa la capacidad de carga del terreno ante la aplicación de cargas compresivas.

IV.3 DESCRIPCIÓN DE LA LINEA ¹

El tramo II ya está construido (Línea I) y sólo se le va a agregar un circuito más a las estructuras. Los tramos I y III son los que se construirán.

Descripción de los tramos:

TRAMO	DE - A	DEFLEXIONES	KILOMETRAJE
I	Escárcega - Champotón	12	81
II	Champotón - Poxyaxum	7	61
III	Poxyaxum - Tícul II	16	127

Los tramos por construir son paralelos a Línea I "Escárcega - Tícul II" ya construida; el tramo I se separa de 70.0 m hasta 1 km y el tramo III a sólo 50.0 m. En general, el trazo de éstas atraviesa por cerros, lomeríos fuertes, lomeríos suaves y por algunas zonas bajas inundables (zona arrocera), se inspeccionaron los terrenos bajos para definir el tipo de cimentación de las estructuras que caen en estas zonas.

IV.4 TRABAJOS DE CAMPO

En el recorrido de los dos tramos, se observó:

- El material del subsuelo en cortes de caminos y laderas de cerros.
- La topografía del terreno.
- Se realizaron 9 sondeos de penetración estándar; la profundidad explorada varió de 2.0 a 5.0 m debido a la dureza de los materiales encontrados. Se presentan las figuras 1 y 2 de los perfiles estratigráficos de resistencia a la penetración estándar y de algunas propiedades índice.

¹ Estudio Geotécnico, 92-100-GS, Gerencia de Ingeniería Experimental y Control, CFE, 20 de octubre de 1992.

IV.4.1 DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO

La estratigrafía del subsuelo de las zonas bajas inundables se presenta en las figuras 1 y 2 en las cuales, se indica el kilometraje en el que se realizó la exploración y se señala el nivel de aguas fráticas o tirante de agua existente en el sitio donde se realizó el sondeo exploratorio.

A continuación se hace una descripción de lo observado durante el recorrido del trazo de la línea.

TRAMO I

SUBESTACIÓN	Terreno plano
ESCÁRCEGA	Capa superficial de 1.0 a 1.5 m de arcilla limosa gris oscuro enseguida aparece un depósito de limo con arcilla y arena fina (sahcab) compacto a cementado.
PI-1	Lomeríos muy suaves a lomeríos. Bosque medio. Capa superficial de suelo vegetal y sahcab cementado
PI-2 y PI-3	Zona de lomeríos. Bosque medio Roca caliza superficial; en corte de carretera se observó roca cabeza superficial y sahcab cementado.
PI-4	Lomeríos fuertes y suaves. Bosque medio Zonas de arcilla limosa café rojizo (Cancab) y roca.
PI-5 y PI-6	Lomeríos fuertes y suaves. Bosque medio Roca caliza superficial.

PI-7	Terreno plano, Bosque medio. Zonas de cancab y roca caliza superficial.
PI-8	Cerro fuerte. Bosque medio, Roca caliza superficial
PI-9	Terreno plano, Zona arrocera Sondeo de penetración estándar, ver figura 1
PI-9 a PI-10	Zona de lomeríos fuertes Roca caliza superficial
PI-10 al PI-12	Zonas bajas inundables Ver figura 2.
TRAMO III	
PI-1 a PI-3	Zonas bajas y algunas inundables Cultivo maíz.
PI-4	Lomeríos suaves En este tramo las líneas son paralelas a 70.0 m y las torres de la línea ya construida están cimentadas con zapatas metálicas.
PI-5	Zona de cerros Las torres en servicio, cimentadas con anclas.
P-5-6	Valle de lomeríos suaves Suelo superficial de cáncab y roca

P-5-7 α SUBESTACIÓN

TÍCUL II

Zona de cerros y Lomeríos suaves.

La Línea en operación esta a 50.0 m de separación y prácticamente todas las torres están ancladas.

IV.5 TRABAJOS DE LABORATORIO

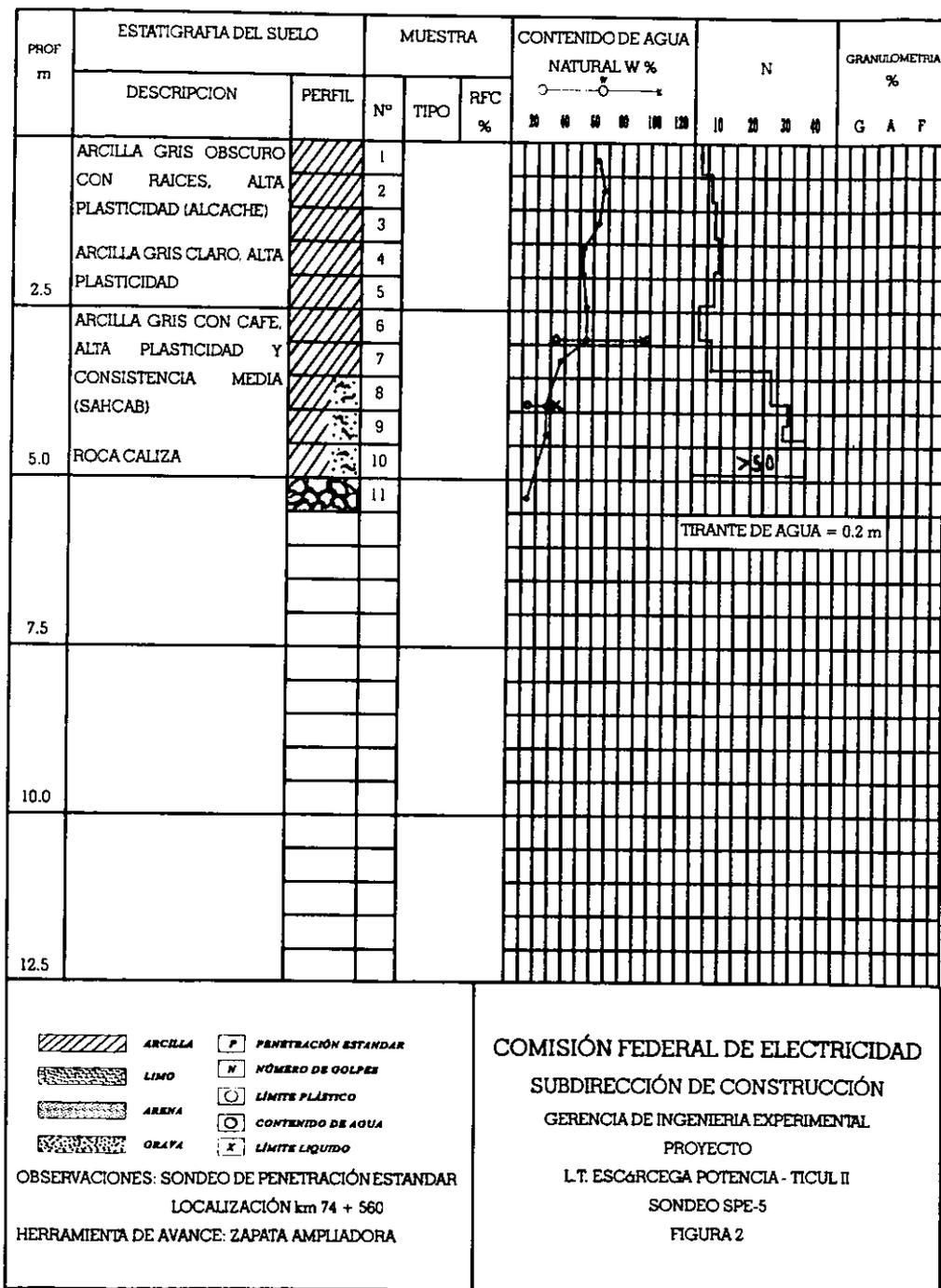
Las muestras obtenidas con los sondeos se enviaron al Departamento de Geotécnica de GIEC (Gerencia de Ingeniería Experimental y Control), en dónde se sometieron de manera selectiva a las siguientes pruebas: clasificación en húmedo y en seco, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUC); contenido de agua y límites de consistencia. Los resultados de estas pruebas se presentan en las figuras 1 y 2.

PROF m	ESTATIGRAFIA DEL SUELO		MUESTRA			CONTENIDO DE AGUA NATURAL W %	N	GRANULOMETRIA %
	DESCRIPCIÓN	PERFIL	Nº	TIPO	RFC %			
2.5	ARCILLA CON ARENA FINA, ALTA PLASTICIDAD Y CONSISTENCIA MEDIA. ARCILLA CON GRUMOS (ROCA CALIZA)		1					
			2					
			3					
			4					
5.0								
7.5								
10.0								
12.5								

- | | | | |
|--|---------|--|----------------------|
| | ARCILLA | | PENETRACIÓN ESTANDAR |
| | LIMO | | NÚMERO DE GOLPES |
| | ARENA | | LÍMITE PLÁSTICO |
| | GRAVA | | CONTENIDO DE AGUA |
| | | | LÍMITE LÍQUIDO |

OBSERVACIONES: SONDEO DE PENETRACIÓN ESTANDAR
 LOCALIZACIÓN km 58 + 300
 HERRAMIENTA DE AVANCE: ZAPATA AMPLIADORA

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
 SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN
 GERENCIA DE INGENIERIA EXPERIMENTAL
 PROYECTO
 L.T ESCÁRCEGA POTENCIA - TICUL II
 SONDEO SPE-1
 FIGURA 1



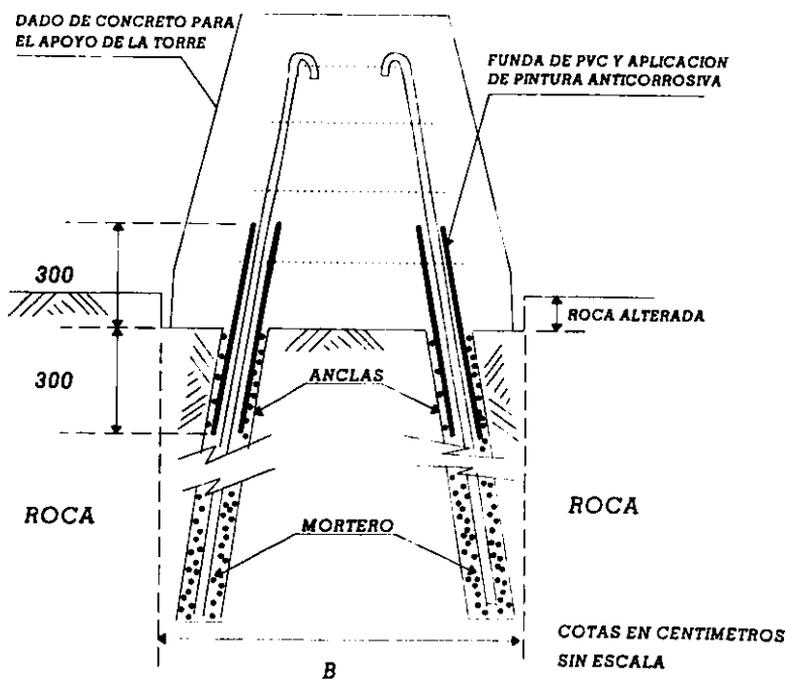
IV.6 ALTERNATIVAS DE CIMENTACIÓN

IV.6.1 CIMENTACIÓN ANCLADA EN ROCA

De acuerdo con la inspección realizada a lo largo del trazo de los dos tramos en estudio, la exploración efectuada, la topografía del terreno y la cimentación de las torres en servicio de la Línea I Escárcega - Tícul II, nos indica que la mayor parte de las estructuras se apoyarán en roca, previo retiro de los materiales sueltos sobre ella.

Dada la alta capacidad de la roca se construirán las cimentaciones con pilones de concreto reforzado apoyados y anclados a la roca, como el mostrado en el siguiente dibujo.

CIMIENTO ANCLADO (PILON)



Deberá garantizarse que no existan grandes cavidades en el subsuelo que pongan en peligro a la estabilidad de alguna estructura; de otra forma será necesario cambiarla de lugar.

Sí en el sitio se confirma la ausencia de cavernas pero existen oquedades del tamaño de la cimentación (zapatas o pilones) o menores, será necesario primero extraer el material suelto de ellas, limpiarlas cuidadosamente, para posteriormente rellenarlas con mortero o concreto, el cual deberá tener una resistencia mínima de 100 kg/cm².

Para la exploración y detección de cavernas y oquedades se procederá a barrenar con perforadora bajo el desplante de la estructura hasta una profundidad igual a 2 veces el ancho del cimiento. Se realizará una perforación por pata en cada estructura.

La fuerza de tensión que las estructuras pasen a los pilones, la transmitirán a la roca mediante anclas. Las anclas serán de 2.54 cm (1.0") ϕ y se instalarán en perforaciones de 5.08 cm (2.0") ϕ como mínimo rellenas de mortero, el cual tendrá una resistencia mínima de $f'c = 180$ kg/cm². Su longitud en roca no será menor de 2.0 m.

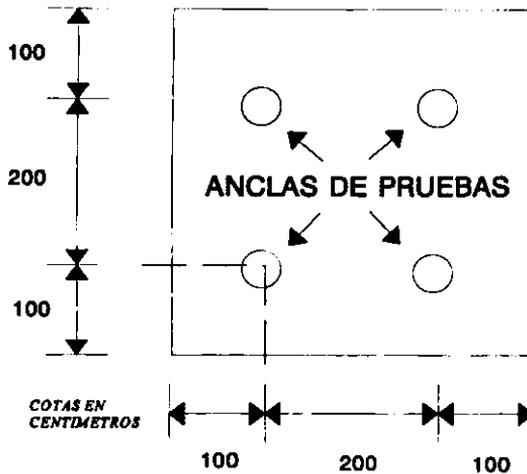
Estos valores son los mínimos de acuerdo a la Especificación CFE J1000-50, una vez realizadas las pruebas, dichos valores podrán modificarse de acuerdo a los resultados obtenidos.

ESPECIFICACIONES PARA LA PRUEBA DEL SISTEMA DE ANCLAJE¹

SITIOS DE PRUEBA

Se instalarán cuatro anclas de prueba en dos sitios de estructuras en donde aparezca roca. La distribución de las anclas se hará como se indica en el dibujo

DISPOSICIÓN DE LAS ANCLAS DE PRUEBAS

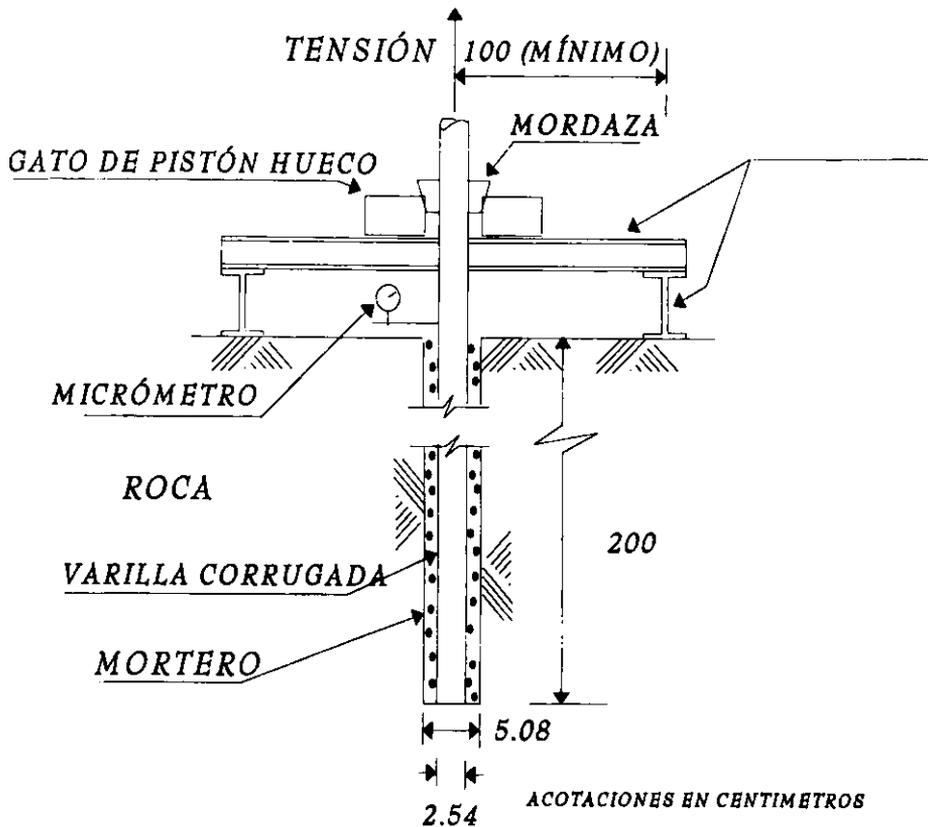


ANCLAS

Las anclas de prueba estarán constituidas por varillas corrugadas de acero ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$), con diámetro de 2.54 cm (1.0") y longitud efectiva de 2.0 m dentro de la roca, en una perforación de 5.08 cm (2.0") de diámetro como mínimo

Las varillas deben sobresalir de la perforación una longitud mínima de 1.5 m para permitir la colocación del equipo de prueba, como se indica en el dibujo

ARREGLO PARA PROBAR LAS ANCLAS DE FRICCIÓN



MORTERO

El mortero para el colado de las anclas deberá tener una resistencia mínima de 180 kg/cm^2 , para lo cual se recomienda el siguiente proporcionamiento tentativo que deberá verificarse mediante cilindros de prueba a 3 y 7 días.

¹ Especificaciones para la Instalación y Prueba de Anclas de Fricción, Gerencia de Ingeniería Experimental y Control, CFE.

Proporcionamiento tentativo del mortero

MATERIAL	PROPORCIÓN UNITARIA	PORCIÓN EN VOLUMEN
Arena fina pasada por la malla No. 16 (1.19 mm)	1.5 partes	50.0 litros
Agua	0.9 partes	30.0 litros
Cemento normal	1.0	50.0 kg (1 saco)
Aditivo expansor estabilizador de volumen		

INSTALACIÓN

La instalación de las anclas de prueba deberá realizarse como se indica a continuación:

- a) Perforar hasta la profundidad requerida con un diámetro de 2.0" como mínimo.
- b) Sopletear con aire o lavar la perforación para retirar el polvo de las paredes.
- c) Llenar con agua la perforación para saturar las paredes y así evitar la pérdida de agua del mortero.
- d) Colocar el mortero dentro de la perforación, utilizando para ello una manguera para depositarlo en el fondo e ir avanzando hacia arriba conforme se desplace el agua previamente introducida. Durante cada colado se elaborarán dos cilindros de prueba para su ensaye en el laboratorio a 3 y 7 días

- e) Inmediatamente después de vaciado el mortero se procederá a introducir la varilla en la perforación. Las varillas deben sobresalir 1.5 m con objeto de permitir la instalación del equipo de prueba.

IV.6.2 CIMENTACIÓN A BASE DE ZAPATAS

En el caso de las estructuras desplantadas en suelo ya sea sahcab o cancab, se usarán zapatas de concreto reforzado. De los estudios de Mecánica de Suelos se obtiene que la capacidad de carga neta admisible de los suelos es de 20 ton/m² para condiciones estáticas, con una profundidad mínima de desplante de 2 m respecto al nivel del terreno natural.

Todas las zapatas deberán ser de concreto reforzado y por ningún motivo se permitirá utilizar parrillas metálicas.

Para resistir las fuerzas de tensión que actuarán en las patas de las torres, la cepa donde se aloje cada zapata se rellenará con sahcab y/o cancab, debiendo eliminar el suelo de color oscuro (acalché). Este se colocará en capas sueltas de 15 cm de espesor y con el contenido de agua necesario para su adecuada compactación; cada capa se compactará enérgicamente con pisón neumático. En caso de no contar con bailarinas, la compactación podrá hacerse con pisón de mano, debiendo satisfacer las condiciones anteriores, pero las capas tendrán un espesor máximo de 10 cm. Los términos sahcab, cancab y acalché son locales y no pertenecen al SUCS.

Las cepas que se excaven para construir las zapatas se harán con talud vertical. Inmediatamente después de realizada cada excavación deberá colocarse en el fondo una plantilla de concreto pobre con $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ de 5 cm de espesor.

Se procurará que la construcción de los cimientos y el relleno de las cepas se hagan con la brevedad posible. La plantilla de concreto deberá aglutinar los materiales granulares que pudieran aparecer en el fondo. En caso de que exista agua, deberá bombearse para evitar su inundación.

IV.6.1 RECOMENDACIONES GENERALES

En el diseño de las mezclas de concreto que se emplearán en la construcción de los pilones o las zapatas de las estructuras, deberá emplearse una relación de agua/cemento de 0.60 para un concreto $f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y de 0.57 para un concreto $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, cemento maya T1 y un revenimiento de $10 \pm 2 \text{ cm}$.

Es importante tomar en cuenta que en las zonas potencialmente inundables se tomen las medidas necesarias para proteger a las estructuras de los efectos del agua.

IV.7 DISEÑO DE UNA ZAPATA PARA EL PROTOTIPO

IV.7.1 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO

Los dados o fustes de las cimentaciones deben sobresalir 30 cm del nivel natural del terreno en zonas inundables y la misma longitud por arriba del NAME en zonas susceptible a inundación.

Se diseñan cimentaciones superficiales para todos los tipos de torres de acuerdo con las siguientes condiciones:

- a) Para suelos con capacidad de carga neta admisible q_a 0.5, 1.0 y 2.0 kg/cm².
- b) Para cada nivel de torre, considerando suelo sumergido (nivel freático superficial), suelo húmedo (nivel freático abajo de la profundidad de desplante), ambos casos para suelo friccionante y para suelo cohesivo.

El nivel mínimo de desplante para zapatas de concreto es de 2.0 m, en sitios susceptibles de socavación la profundidad mínima de desplante se considera a partir del nivel inferior de socavación estimado.

La conexión entre los montantes y los dados de cimentación se diseña por medio de stubs que son extensiones del montante ahogadas en el dado con clips (uñas) atornilladas.

IV.7.2 REVISIÓN A LA ESTABILIDAD

En la revisión se debe emplear las cargas y momentos mas desfavorables que la estructura transmite a la cimentación, afectados por el factor de carga correspondiente.

Capacidad de carga

Se debe cumplir con los siguientes requisitos:

a) $S_{\max} < q_a \cdot 1.33$ en donde

S_{\max} : Presión efectiva aplicada al terreno en condiciones dinámicas.

q_a : Capacidad de carga neta admisible del terreno a nivel del desplante

Volteo

Se debe cumplir: $\frac{M_r}{M_v} > 1,0$ para zapatas

Donde:

M_r : Momento resistente producido por todas las fuerzas que se oponen al volteo aplicadas a la cimentación.

M_v : Momento de volteo producido por todas las fuerzas que producen volteo aplicadas a la cimentación.

Las fuerzas resistentes por peso del relleno se calculan considerando los pesos volumétricos.

El peso del relleno actuante sobre las zapatas corresponde al volumen de una pirámide truncada, que tiene una inclinación máxima de sus caras con respecto a la vertical de 20° para suelo friccionante y 30° para suelo cohesivo, estos valores varían de acuerdo a la resistencia al esfuerzo cortante, de la forma de la excavación de la base.

Se incluye el peso de la cimentación para ambas condiciones.

Se analizan las patas sometidas a compresión y a tensión.

Arrancamiento de Zapatas

Debe cumplirse: $\frac{P}{T} > 1,0$

Donde:

- P Suma de fuerzas verticales que actúan sobre la cimentación, incluyendo el peso del relleno y de la cimentación.
- T Fuerza de tensión máxima.

Las fuerzas resistentes por peso del relleno se calculan considerando el peso volumétrico del relleno.

El peso del relleno actuante sobre las zapatas corresponde al volumen de una pirámide truncada.

IV.7.3 DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA ZAPATA

Fuerzas máximas actuantes:

T = Tensión: 53.70 t

C = Compresión: 72.60 t

FL = Longitudinal: 11.00 t

FT = Transversal: 13.80 t

Materiales:

Concreto con cemento puzolánico

$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma_c = 2.4 \text{ t/m}^3$

Acero $f_y = 4200 \text{ kg/m}^2$

Suelo

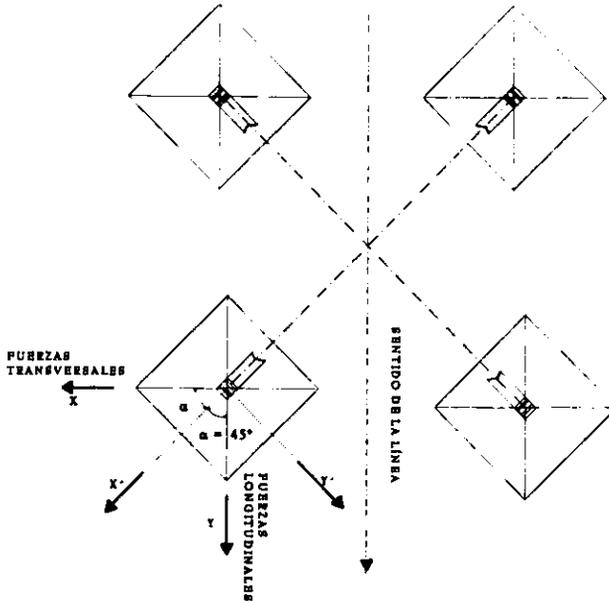
$S_{adm} = 20 \text{ t/m}^2$ (capacidad de carga neta admisible del terreno a nivel de desplante)

$\beta = 20^\circ$ (ángulo de arrancamiento)

$\gamma_t = 1.7 \text{ t/m}^3$ (peso específico del suelo)

$\gamma_{ts} = 0.7 \text{ t/m}^3$ (peso específico del suelo sumergido)

Las fuerzas longitudinales y transversales se descomponen en las direcciones X' , Y' .



IV.7.4 PROCEDIMIENTO PARA DIMENSIONAR LA ZAPATA

Se proponen valores a las variables A , B , C , D , h , H , E , y F , con estos se realizan las siguientes verificaciones:

A COMPRESIÓN

Cálculo de la fuerza de compresión total:

$$F_c = C + W_c$$

C : fuerza de compresión

W_c : Peso de la cimentación

Descomposición de fuerzas sobre los ejes X' Y'

$$F_x = FT \cdot \cos(\alpha) + FL \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_y = FT \cdot \sin(\alpha) - FL \cdot \sin(\alpha)$$

Excentricidad

$$e = (E + F) \cdot \tan(\delta)$$

Presión media

$$S_m = \frac{F_c}{A^2} \quad (\text{carga de compresión total entre el área de la zapata})$$

Debiendo cumplir con $S_m \leq S_{adm}$ (1.33)

S_{adm} : Capacidad de carga neta admisible del terreno al nivel del desplante.

Presión de borde

$$S_1 = v \cdot S_m$$

donde v se obtiene de las tablas de Pohl

A TENSION (ARRANCAMIENTO)

Cálculo de la carga estabilizante

$$C_E = W_c + W_{ca}$$

W_c : Peso de la cimentación

W_{ca} : Peso del terreno que gravita sobre la cimentación considerando el cono de arrancamiento)

Cálculo de la Seguridad al Arrancamiento

$$Seg.Arr. = \frac{C_E}{T}$$

T: Tensión máxima transmitida por la estructura a la cimentación.
 Debiendo cumplir con $\text{Seg. Arr.} \geq 1.00$

AL VOLTEO

Calculo del momento resistente

$$M_r = \frac{(F_c + W_c + W_{ca}) \cdot A}{2}$$

F_c : Fuerza de compresión total

A: Ancho de la base.

$$M_{vx} = F_y \cdot (h+H)$$

F_y : Fuerza resultante debido a la FT, FL y el ángulo delta en la dirección Y'.

$h+H$: Altura total de la cimentación.

$$M_{vy} = F_x \cdot (h+H)$$

F_x : Fuerza resultante debido a la FT, FL y el ángulo delta en la dirección X'.

$h+H$: Altura total de la cimentación.

Debiendo cumplir con:

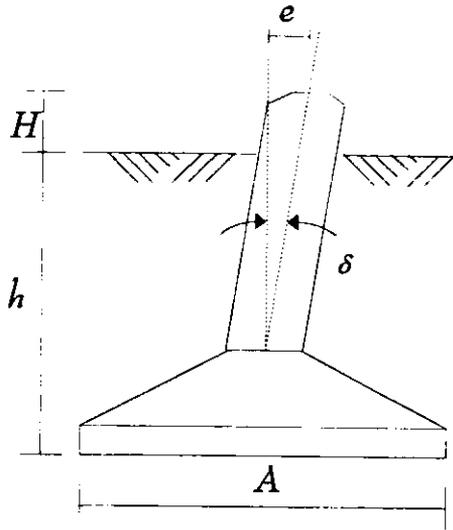
$$\text{Sg}V_x \geq 1.00$$

$$\text{Sg}V_x = \frac{M_r}{M_{vx}}$$

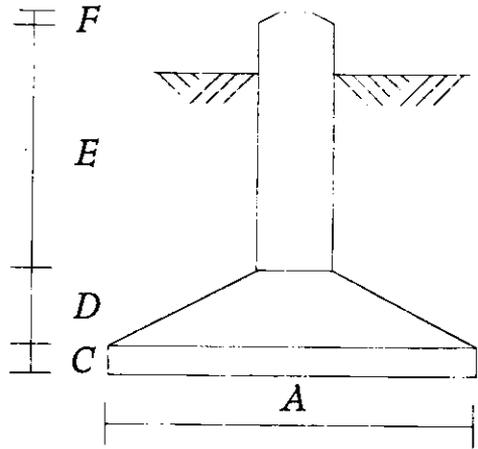
$$\text{Sg}V_y \geq 1.00$$

$$\text{Sg}V_y = \frac{M_r}{M_{vy}}$$

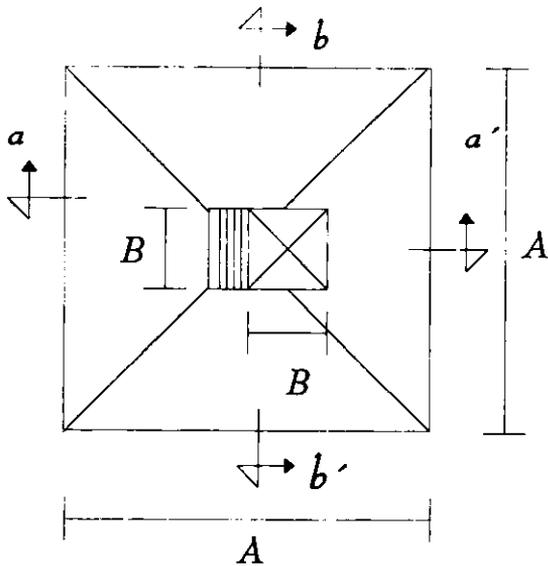
DIMENSIONES DE LA ZAPATA



VISTA $a - a'$



VISTA $b - b'$



LAS DIMENSIONES
SE DAN EN METROS

CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA ZAPATA			
VARIABLES	VALORES	OBSERVACIONES	
A	m	2.10	
B	m	0.60	
C	m	0.20	
D	m	0.20	
h	m	3.10	
H	m	1.15	
E	m	3.80	
F	m	0.05	
δ	°	8.37	
e	m	0.57	
VERIFICACIÓN A COMPRESIÓN			
C	t	-72.60	
FL	t	11.00	
FT	t	13.80	
F_x	t	17.54	
F_y	t	1.98	
F_c	t	78.98	
S_i	t/m ²	34.39	34.39
1.33(Sadm)	t/m ²	39.90	
VERIFICACIÓN AL ARRANCAMIENTO			
T	t	53.70	
Beta	°	20.00	
W_c	t	6.38	
W_{ca}	t	47.63	
C_E	t	54.01	
Seg.Arr.		1.01	MAYOR O IGUAL QUE 1.0
VERIFICACIÓN AL VOLTEO			
M_{vy}	tm	74.53	
M_{vx}	tm	8.41	
M_i	tm	102.11	
Seg.Volteo x'		1.37	MAYOR O IGUAL QUE 1.0
Seg.Volteo y'		12.14	MAYOR O IGUAL QUE 1.0

IV.7.5 DISEÑO ESTRUCTURAL

Área armadura inferior

Flexión Respecto a línea de rotura 1-1

$$M[t\cdot m] = S_1 \cdot (A - B)^2 \cdot \frac{A}{8}$$

$Mou = 1.1 \cdot M$ de acuerdo a las especificación CFE J1000-50.

Cuantía de acero

$$P = \frac{1 - \sqrt{\frac{1 - 2.62 \cdot Mou}{f_c \cdot B \cdot d^2}}}{\frac{1.18 \cdot fy}{f_c}} \quad d[m] = C + D - r$$

debiendo ser mayor que: $P \geq \frac{0.7 \sqrt{f_c}}{fy}$

Área de la armadura inferior en ambas direcciones:

$$As_1 [cm^2] = P \cdot d \cdot B \cdot 10^4$$

Área armadura superior

$$q [t/cm^2] = \frac{T}{A^2 - B^2}$$

Flexión respecto de la línea de rotura 1-1

$$Ms [t\cdot m] = q \cdot (A - B)^2 \cdot \frac{A}{8}$$

Momento ultimo

$$Msu [t\cdot m] = 1.1 \cdot Ms$$

Distribución de la armadura superior por tercios en cada faldón y en el centro

$$d[m] = C + \frac{2 \cdot (D - r)}{3}$$

Cuantía de acero

$$P = \frac{1 - \sqrt{\frac{1 - 2.62 \cdot M_{su}}{f_c \cdot A \cdot d^2}}}{\frac{1.18 \cdot f_y}{f_c}}$$

debiendo ser mayor que:

$$P \geq \frac{0.7 \sqrt{f_c} \cdot B}{f_y \cdot A}$$

Área de la armadura superior en ambas direcciones:

$$As_2[cm^2] = \frac{P \cdot d \cdot A \cdot 10^4}{3} \quad \text{Zona central}$$

$$As_2[cm^2] = \frac{2 \cdot (P \cdot d \cdot A \cdot 10^4)}{3} \quad \text{Faldones}$$

Área de acero en el dado.

$$As_d[cm^2] = F_u + \frac{(M_{x'u} + M_{y'u}) \cdot 3/l}{0.9 \cdot f_y}$$

$$l[m] = \frac{B - 2 \cdot r}{100}$$

f_y en $[t/cm^2]$

donde:

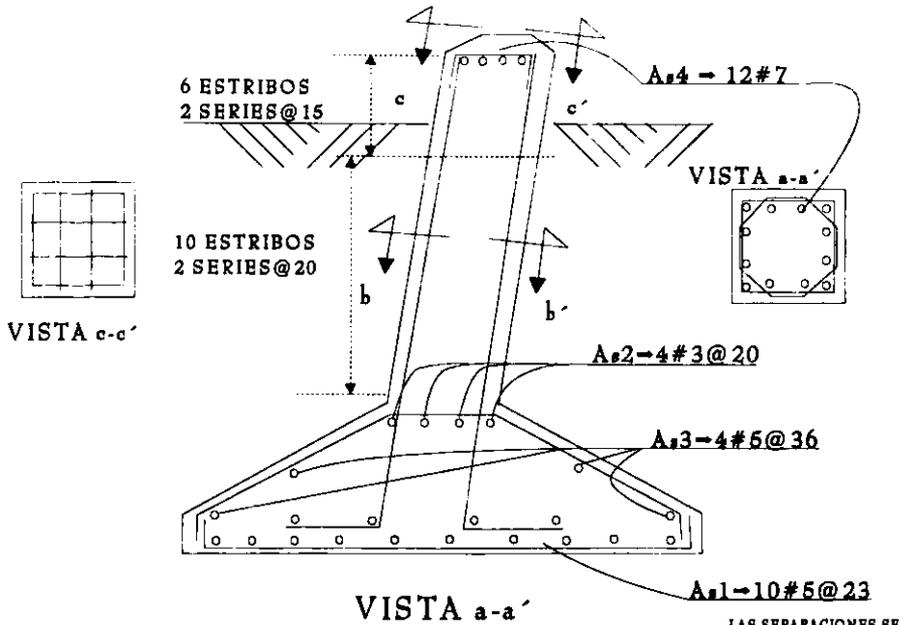
$$F_u[t] = 1.1 \cdot T$$

$$M_{x'u}[t \cdot m] = 1.1 \cdot |F_y \cdot (E + F)|$$

$$M_{y'u}[t \cdot m] = 1.1 \cdot |F_x \cdot (E + F) - T \cdot e|$$

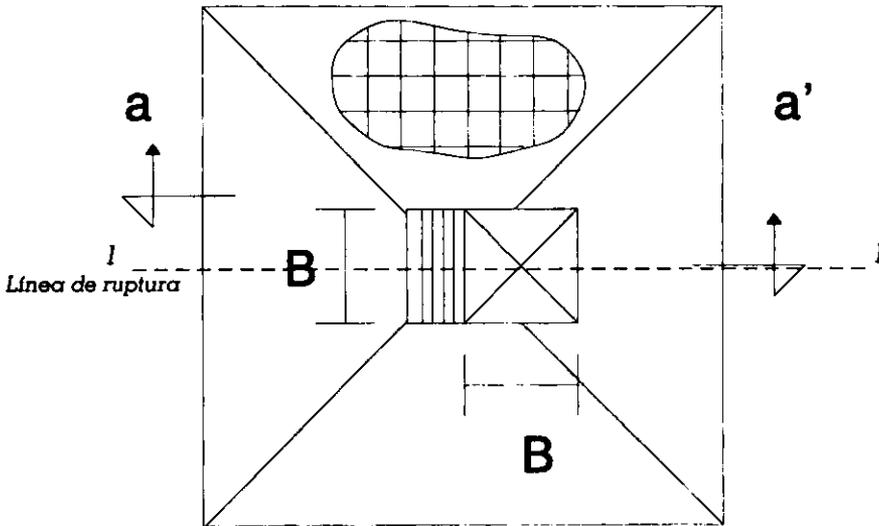
CÁLCULO DE ACERO PARA LAS ZAPATAS			
VARIABLES		VALORES	OBSERVACIONES
MATERIALES			
$f'c$	kg/cm ²	200	
f_y	kg/cm ²	4200	
CÁLCULO DEL ÁREA DE LA ARMADURA INFERIOR			
M	tm	20.31	
M_{ou}	tm	22.34	
d	m	0.35	
P		0.0090	MAYOR O IGUAL QUE 0.0024
As_1	cm ²	19.00	ARMADURA INFAMBAS DIRECCIONES
CÁLCULO DEL ÁREA DE LA ARMADURA SUPERIOR			
T	t	53.70	
q	t/m ²	13.26	
Ms	tm	7.83	
Msu	tm	8.61	
d	m	0.30	
P		0.0012	
As_2	cm ²	2.57	ZONA CENTRAL EN AMBAS DIRECCIONES
As_3	cm ²	5.14	
SOLICITACIONES ULTIMAS			
F_u	t	59.07	
$M_{x'u}$	tm	1.50	
$M_{y'u}$	tm	15.95	
As_4	cm ²	43.32	

ARMADO DE LA ZAPATA



LAS SEPARACIONES SE DAN EN CENTRIMETROS

EL ARMADO EN LA BASE DE LA ZAPATA SE REALIZARA EN AMBAS DIRECCIONES



IV.7.6 DISEÑO DE LOS STUBS

Los stubs son la conexión entre la cimentación y la estructura, este elemento estructural está ahogado en el concreto de la cimentación, su anclaje interno se da con conectores o uñas.

DISEÑO DE CONECTORES DE LOS STUBS

Se parte de que estos conectores absorben en su totalidad los esfuerzos (tensión y compresión) transmitidos por la estructura a la cimentación, el siguiente cálculo se ha establecido en CFE basado en el ASCE 88 y en El Cálculo de torres para Linhas de Transmissão.

- Cálculo del número de conectores:

$$N = \frac{C_p}{C_t}$$

donde:

N : Número de conectores

C_p : Capacidad de la pata a compresión

C_t : Capacidad del tornillo (las uñas o clips son atornillados al stub con un tornillo)

Donde:

$$C_p = 0.85 \cdot f_y \cdot A_p$$

A_p : Área de la pata

f_y : Dela pata

- Cálculo de la longitud de los conectores:

$$L_c = \frac{C_t}{C_{ac}(7.62)}$$

L_c : Longitud de los conectores

C_{ac} : Capacidad de aplastamiento del concreto

- Cálculo de la longitud de la pata:

$$L_p = \frac{C_p}{A_d(A_c)4}$$

A_d : Adherencia del concreto en la pata

$A_d = 0.10 \cdot f'c$ valores establecido por

A_c : Área del conector

ACI

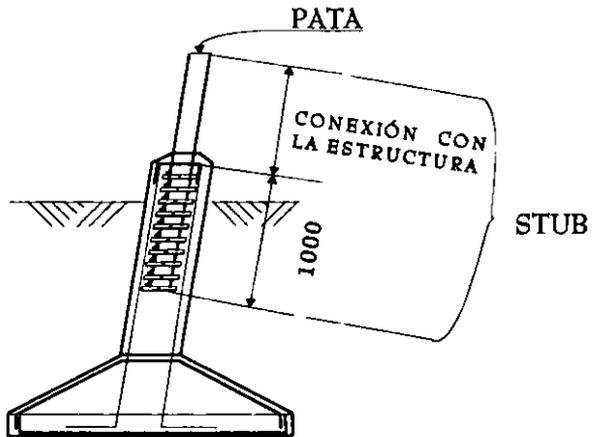
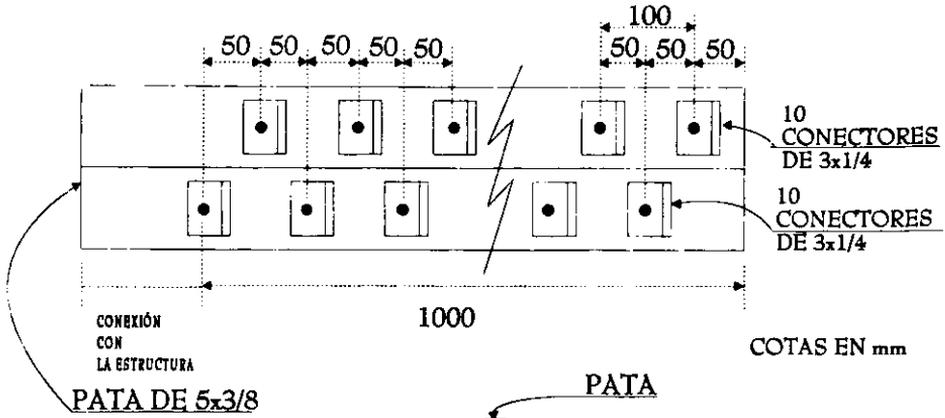
- Cálculo del espacio entre los conectores:

$$E_c = \frac{L_p}{\frac{N_c}{2}}$$

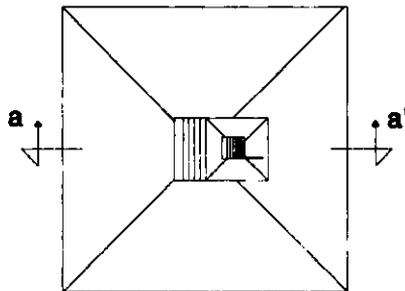
Se colocan la mitad de los conectores en cada ala del perfil en forma alternada.

DATOS					
PATA			CONECTORES		
ANGULO	127x10	mm	ANGULO	76x6	mm
A_p	23.29	cm ²	A_c	10.16	cm ²
f_y	3515	kg/cm ²			
TORNILLOS			CONCRETO		
DIAMETRO	15.875	mm	$f'c$	200	kg/cm ²
C_t	4100	kg	C_{ac}	140	kg
			A_d	20	kg/cm ²
CÁLCULO					
	MINIMO	PROYECTO			
N	16.97	20	pza		
L_c	3.84	8	cm		
L_p	85.61	100	cm		
E_c	10.00	10	cm		

DESPIECE DEL STUB



VISTA a-a'



PLANTA

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

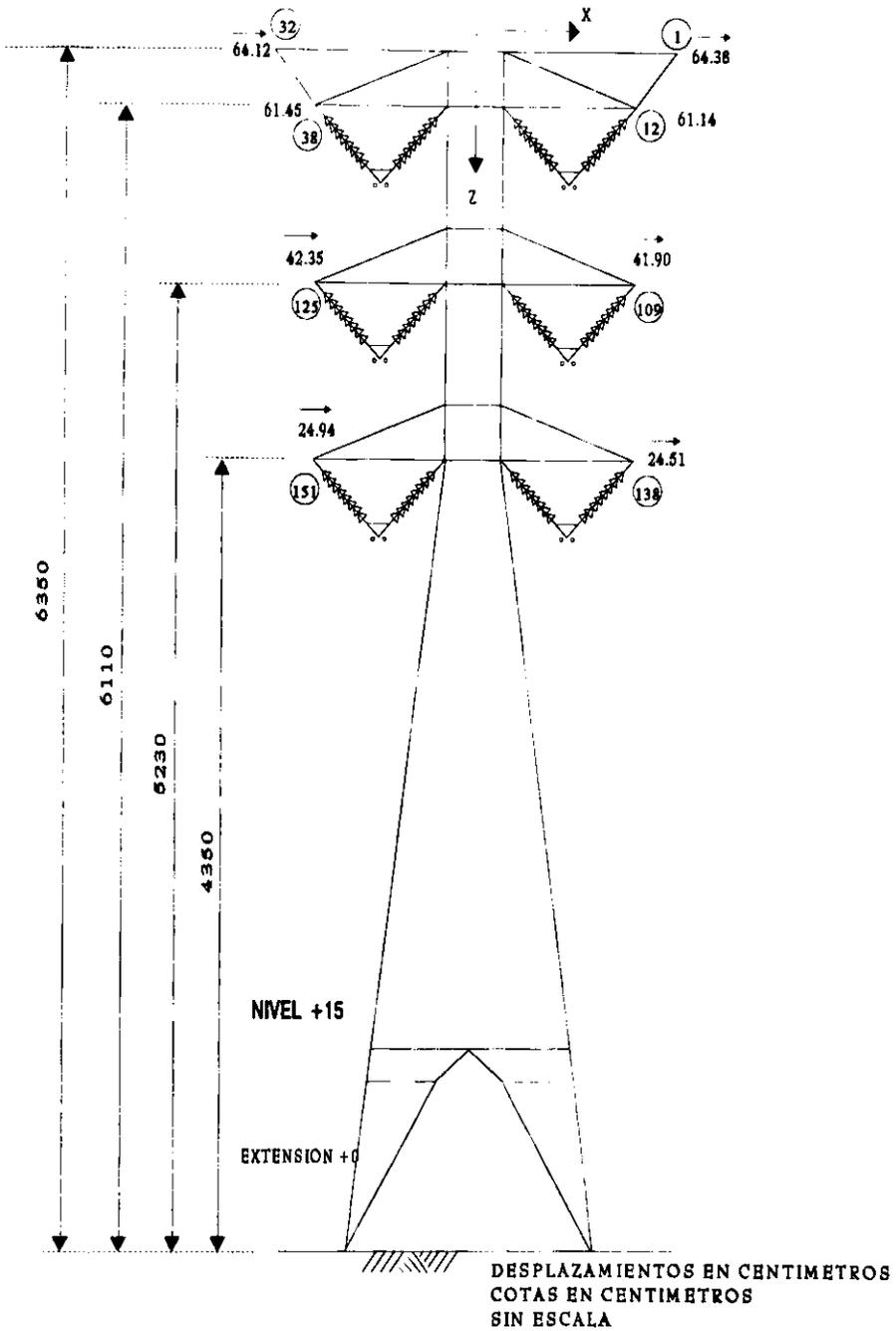
V.1 RESULTADOS

Revisión de los desplazamientos.

Del análisis se obtuvieron los desplazamientos máximos que fueron para el "Caso 2 Normal con Viento Máximo V2", se reviso que el desplazamiento máximo en la punta de las crucetas no exceda el 1% de la altura medida del nivel de desplante del terreno hasta el punto donde se encuentra el nudo. CFE establece este porcentaje con el fin de evitar que la deflexión de la estructura propicie un acercamiento del conductor inferior con cualquier elemento estructural.

Nudo	Dirección	Desplazamiento [cm]	Nudo	Dirección	Desplazamiento [cm]
32	X	64.12	1	X	64.38
	Y	0.01		Y	0.00
	Z	-19.79		Z	23.58
38	X	61.45	12	X	61.14
	Y	0.00		Y	0.00
	Z	-16.33		Z	19.67
125	X	42.34	109	X	41.90
	Y	0.00		Y	0.00
	Z	-14.39		Z	18.84
151	X	24.94	138	X	24.51
	Y	0.00		Y	0.00
	Z	-12.17		Z	16.43

DESPLAZAMIENTOS EN LAS PUNTAS DE LAS CRUCETAS



En el diseño del prototipo se encontró que el grupo 53 con el perfil propuesto por el diseñador, este falla a la compresión por lo que el programa ToMAD propuso cambiar el perfil, las longitudes se dan en centímetros y los esfuerzos en toneladas.

>>>> GRUPO 53 BRACE(SKIDPIED)

DESIGNED.....	SPECIFIED.....
ANGLE : 76x76x5	ANGLE : 60x60x4
SINGLE/DOUBLE : SINGLE	SINGLE/DOUBLE : SINGLE
BOLTED THRU : SHORT LEG	BOLTED THRU : SHORT LEG
BOLT DIAMETER : SEE BELOW	BOLT DIAMETER : ANY
STEEL : 2.531	STEEL : 2.531
	MEM.CAP.LIMIT : 100.0 %

** SPECIFIED ANGLE FAILS COMPRESSION TEST BY 29.878 % **

MEMB	FROM TO					MAXIMUM		LOAD	MEMBER CAP	BOLT	BOLTS	GUS	BOLT CAP	
NAME	JOIN JOIN	L	LX	LY	TENSION-%	COMEN-%	CASES	TENSION	COMEN	DATA	REQ:HDNR	**	SHEAR	BEAR
663	201 239	150.7	301.4	150.7	1.13- 8	2.55-29	10 16	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
602	201 219	150.7	301.4	150.7	2.30-16	1.30-16	5 10	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
665	198 240	150.7	301.4	150.7	0.43- 3	5.55-63	14 15	12.96	8.86	1.27	2: 2x 1 -	7.5	6.2	
642	198 232	150.7	301.4	150.7	5.30-40	0.69- 8	15 14	13.35	8.86	2.22	1: 1x 1 -	11.5	5.4	
644	196 233	150.7	301.4	150.7	1.75-12	1.94-22	18 6	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
621	195 225	150.7	301.4	150.7	1.69-12	2.00-23	6 9	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
623	191 226	150.7	301.4	150.7	5.30-40	0.00- 0	15 0	13.35	8.86	2.22	1: 1x 1 -	11.5	5.4	
600	191 218	150.7	301.4	150.7	0.00- 0	5.55-63	0 15	12.96	8.86	1.27	2: 2x 1 -	7.5	6.2	
666	240 238	150.7	301.4	150.7	0.43- 3	5.55-63	14 15	12.96	8.86	1.27	2: 2x 1 -	7.5	6.2	
664	239 237	150.7	301.4	150.7	1.13- 8	2.55-29	10 16	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
645	233 231	150.7	301.4	150.7	1.75-12	1.94-22	18 6	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
643	232 230	150.7	301.4	150.7	5.30-40	0.69- 8	15 14	13.35	8.86	2.22	1: 1x 1 -	11.5	5.4	
624	226 224	150.7	301.4	150.7	5.30-40	0.00- 0	15 0	13.35	8.86	2.22	1: 1x 1 -	11.5	5.4	
622	225 223	150.7	301.4	150.7	1.69-12	2.00-23	6 9	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
603	219 217	150.7	301.4	150.7	2.30-16	1.30-16	5 10	14.49	8.86	1.27	1: 1x 1 -	3.7	3.1	
601	218 216	150.7	301.4	150.7	0.00- 0	5.55-63	0 15	12.96	8.86	1.27	2: 2x 1 -	7.5	6.2	

GRUPO MAXIMUM TENSION = 5.301 (MEMBER 624)
 GRUPO MAXIMUM COMPRESSION = 5.553 (MEMBER 601)
 GRUPO WEIGHT = 0.133
 GRUPO LENGTH = 2411.057

V.2 CONCLUSIONES

Partiendo de la geometría y los perfiles propuestos por el diseñador, se genero el modelo para su análisis y diseño de forma independiente, por lo que no es necesario comparar los resultados de desplazamientos, esfuerzos, etc. con respecto al resultado que presenta el diseñador.

Los desplazamientos en las puntas de las crucetas se encontraron dentro del limite fijado por CFE, solo se revisa el desplazamiento en el sentido "X" por que es el mas desfavorable debido a la acción del viento sobre los cables, herrajes y la estructura de la torre.

En el diseño se encontró que el perfil propuesto por el diseñador 64x64x4 para el GRUPO 53 no pasaba debido a que se presento una sobre compresión del 29.88 %, por lo que se le propuso al diseñador remplazar dicho perfil por uno de 76x76x5.

Al revisar el porcentaje de trabajo de cada grupo se encontró que todos los grupos están trabajando dentro de los rangos fijados por CFE, pero se identificaron los grupos con un porcentaje de trabajo arriba del 90% con el fin de que estos se observaran durante la prueba del prototipo, ya que de alguna forma estos podían fallar como consecuencia de una mala solución de las conexiones o una deficiente aplicación de las cargas.

Se identificaron los elementos principales que estan trabajando dentro del rango del 90% al 95% de su capacidad y a los elementos secundarios que estan en el rango del 95% al 99% de su capacidad.

GRUPOS QUE ESTAN TRABAJANDO ENTRE EL RANGO DEL 90% AL 95%		
GRUPO	TIPO DE ELEMENTO	% DE TRABAJO
2	PRINCIPAL	95
12	PRINCIPAL	91
14	PRINCIPAL	91
15	PRINCIPAL	95
26	SECUNDARIO	93
29	SECUNDARIO	93
33	SECUNDARIO	97
36	SECUNDARIO	92
86	SECUNDARIO	94

Después de realizar el análisis y diseño del prototipo se concluye que es un diseño confiable ya que se encuentra dentro de los parámetros fijados por CFE, es decir, que los desplazamientos y esfuerzos están dentro de la tolerancia fijada. En general el prototipo se encuentra trabajando al 87% con la excepción de algunos grupos por lo que se llegó a la conclusión de que el prototipo es confiable.

REFERENCIAS

- Ing. Raúl Rodríguez Islas, Curso Integral de Líneas de Transmisión CFE, marzo de 1995.
- Ingeniería Básica, Cálculos realizados por el Departamento de Ingeniería Eléctrica CFE.
- Diseño de Torres para Líneas de Transmisión, Especificación CFE J1000-50, agosto de 1994
- Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por viento, CFE-III 1993.
- Design of Latticed Steel Transmission Structures, ASCE 88, 9 de diciembre de 1991.
- Carlos Roberto Gontijo, El Cálculo de torres para Linhas de Transmissão, IEA Editora Brasil
- Estudio Geotécnico, 92-100-GS, Gerencia de Ingeniería Experimental y Control CFE, 20 de octubre de 1992.
- Programa ToMAD, Transmission Tower Modeling Analysis and Design, Transdesign International, Versión 96.09.
- Especificación para la Instalación y Prueba de Anclas de Fricción, Gerencia de Ingeniería Experimental y Control CFE
- Programa para Diseño de Cimentaciones "CIM", Departamento de Ingeniería Civil, CFE.