



Universidad Nacional

Artística

28

135

Señor ALEJANDRO JESUS MILLAN MONGE,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Enrique Martínez Romero, para que lo desarrolle como TRABAJO ESCRITO en Opción de Tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"ANALISIS Y DISEÑO DE TORRES PARA LA TRANSMISION DE
ENERGIA ELECTRICA"

- Introducción.
- Características estructurales.
- Solicitaciones.
- Análisis (manual y computadora).
- Diseño.
- Ejemplos - Análisis y diseño de una torre tipo Delta de 230KV + circuito.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del Trabajo Escrito, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 24 de enero de 1984
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ

OARCH/RCCH/ser



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

C A P I T U L O 1

- 1.1). Introducción.

C A P I T U L O 2

CONCEPTOS GENERALES SOBRE TORRES DE TRANSMISION.

- 2.1). Introducción
- 2.2). Descripción de torres de transmisión y definición de conceptos.
- 2.3). Clasificación de las torres de transmisión
- 2.4). Solicitaciones.

C A P I T U L O 3

CONSIDERACIONES PARA LA ESTRUCTURACION DE TORRES DE TRANSMISION.

- 3.1). Introducción.
- 3.2). Especificaciones.
- 3.3). Generalidades.

C A P I T U L O 4

ANALISIS ESTRUCTURAL DE TORRES DE TRANSMISION

- 4.1). Introducción.
- 4.2). Análisis convencional.
- 4.3). Análisis por computadora.

C A P I T U L O 5

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE TORRES DE TRANSMISION.

- 5.1). Introducción.
- 5.2). Especificaciones.
- 5.3). Diseño de copetes.
- 5.4). Diseño de crucetas.
- 5.5). Diseño de brazos.
- 5.6). Diseño de patas y celosía.
- 5.7). Conexiones.
- 5.8). Cimentaciones.

C A P I T U L O 6

EJEMPLO DEL ANALISIS Y DISEÑO DE UNA TORRE DE
SUSPENSION.

- 6.1). Introducción.
- 6.2). Elección de estructuración.
- 6.3). Solicitaciones.
- 6.4). Análisis.
- 6.5). Diseño.
- 6.6). Cimentaciones.

C A P I T U L O 7

CONCLUSIONES.

APENDICES.

PROGRAMAS Y AYUDAS DE DISEÑO.

BIBLIOGRAFIA.

C A P I T U L O 1

INTRODUCCION.

La Energía Eléctrica, como todos sabemos, es una necesidad esencial de nuestro tiempo, forma parte capital en la infraestructura de todo país y es un factor decisivo para su desarrollo social y económico.

Hoy en día, la enorme utilización de este fluido básico debe cumplir con los requerimientos de la demanda de los centros de trabajo, de los hogares, de los servicios públicos en cada ciudad y en todas las regiones del país. Debe satisfacer, además, políticas que coadyuven a la integración nacional y que preparen mejores niveles de vida para la población. Esto justifica plenamente el empleo de todos los recursos naturales y económicos disponibles para su producción en gran escala y satisfacer ampliamente la demanda.

La Administración Federal actual ha trazado el Plan Nacional de Desarrollo Industrial, con objeto de que en forma sistemática se promueva y controle la industrialización de los recursos del país. Por su parte la Comisión Federal de Electricidad ha consolidado sus programas de expansión para satisfacer la demanda acelerada de Energía Eléctrica que se suscite, para llevar a efecto el desarrollo de las diferentes ramas industriales. Se espera que la tasa de crecimiento de generación de energía eléctrica, en los próximos 10 años, sea del orden de 12.5% anual y posteriormente hasta el año 2000 alcance, como valor conservador, 10.5% anual.

Todo esto enmarcado en el Plan Global de Desarrollo. La capacidad instalada en 1982 es del orden de 20 millones de KW, correspondiendo 35% a centrales hidroeléctricas y 65% a termoeléctricas.

El sistema eléctrico concebido, diseñado, construído y operado por mexicanos responde a una demanda presente de 70 mil millones anuales de kilovatios-horas y contemplando esta misma exigencia a la vecindad del año 2000, se tendrá que responder a la colectividad con la generación de 550 mil millones de kilovatios-hora en ese año.

El programa de obras e inversiones del Sector eléctrico exige ampliaciones en esta década de 1.2 billones de pesos. La industria confía y se apoya en el desarrollo eléctrico para su propia expansión, respaldada por los grandes sistemas hidroeléctricos, uno de tantos Chicoasén, Chis. La utilización de la geotermia y el carbón, complementan el empleo de los hidrocarburos en las centrales termoeléctricas y la perspectiva atómica, representada por el enorme complejo de Laguna Verde en Veracruz.

La energía eléctrica se genera hoy en día, mediante la transformación de energía cinética obtenida a su vez de turbinas impulsadas por agua o vapor.

Desafortunadamente la disponibilidad de los recursos requeridos, así como las condiciones y facilidades necesarios para llevar a cabo los procesos involucrados en la generación de energía eléctrica, determinan la localización de centrales eléctricas, por regla general, lejos

de los centros de consumo. Por lo tanto, debemos de tomar en cuenta que el llevar la energía de los lugares de generación a los centros de consumo, puede llegar a ser tan importante como la generación misma.

La transmisión de la energía eléctrica, debido a condiciones técnicas, se realiza a muy alto voltaje. Esta puede ser subterránea o aérea.

En nuestro país la forma más económica es la aérea, en la cual los conductores están desprovistos de aislamientos, por lo tanto, deben de colocarse a cierta altura sobre el terreno, soportados por estructuras apropiadas.

Estos soportes para conductores son las torres y los postes de las líneas de transmisión. Tienen una gran importancia, no obstante su limitada función de apoyos, ya que su costo representa un alto porcentaje del costo total de la transmisión. Estas estructuras de apoyo tienen además la particularidad de ser repetitivas, es decir, es considerable el número de torres y postes en una línea que salvo ligeras variantes, son de iguales características.

Su diseño entonces debe ser lo más eficiente posible, ya sea desde el punto de vista de fabricación, montaje o trabajo en sí. Los pequeños aciertos o deficiencias en el diseño, repercuten de modo significativo en el costo total de la transmisión.

En México el diseño y fabricación de torres de transmisión está sumamente concentrado en dos grandes empresas que diseñan y fabrican 85% de todas las líneas de transmisión del país. Estas empresas son Aceros Ecatepec, S.A. y Torres Mexicanas, S.A., gran parte del restante 15% lo realiza la Compañía de Luz y Fuerza.

Desde luego el demandante casi exclusivo del país en lo referente a líneas de transmisión es la Comisión Federal de Electricidad que en mancuerna con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), planean y clasifican los centros de requerimiento, así como los de generación, para poder surtir al país del tan preciado insumo, la energía eléctrica.

- Para ello el I.I.E. ha creado el P.E.S.E. 2000, que es el plan de expansión del sector eléctrico al año 2000. Este es un estudio elaborado por la Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar de la C.F.E., en el cual se establecen las bases técnicas, económicas y los lineamientos de expansión del sector eléctrico a largo plazo.

En este estudio se señalan:

- Las necesidades de energía y potencia.
- Los programas necesarios en construcción y de plantas, líneas de transmisión y equipo de transformación,
- Los programas de inversión para el equipo mencionado y algunas reflexiones finales.

Primeramente se pronostica la demanda de la energía eléctrica considerando varias tasas de crecimiento económico (4.5, 5.5 y 6.5%) así como de crecimiento de población (3.5, 3.1 y 2.7%).

Del conjunto de resultados obtenidos se considera que la tasa media de crecimiento de la producción global de la energía eléctrica para el período 1978-2000 es de -

9.52% anual con la hipótesis de crecimiento de la población de 2.7% y el crecimiento de P.I.B. de 6.5%. (Ver láminas 1, 2, 3, 4, 5 y 6).

Uno de los aspectos importantes del pronóstico de la demanda es su distribución regional, que para el año - 2000 resulta que el sistema interconectado nacional - (Sistemas Interconectados del Sur y Norte) integrará un 95% del total, quedando el 5% restante repartido entre los sistemas de Baja California y Yucatán. (Ver lámina 7).

Para el desarrollo del sistema de generación se supuso, que el tamaño de las unidades termoeléctricas a base de combustóleo sería de 300 MW. igualmente para las termoeléctricas a base de carbón en el Sistema NOINE*. Para las nucleoeeléctricas en el sistema interconectado Sur, unidades de 1200 MW y para el sistema NOINE* unidades de 600 MW, en ambos casos a partir de 1990. En cuanto a las plantas hidroeléctricas su desarrollo se considera libre de acuerdo al balance económico encontrado en los - estudios.

Por lo anterior es de esperarse que para el año 2000, el 24% de la capacidad total instalada será de plantas hidroeléctricas y el 76% restante de plantas termoeléctricas de todos tipos. (ver lámina 8, 9, 10 y 11).

El desarrollo troncal de transmisión y transformación, de acuerdo al sistema de generación planteado, localiza la posición más económica de las plantas minimizando el sistema de transmisión. De aquí resultan para el año 2000, 13734 Km. de líneas de 400 KV y 12733 Km. de - -

* Norte y Noreste.

líneas de 230 KV, o sea que para el período 1983-2000 se requiere un total de 11460 km de líneas de las cuales el 61% son de 400 KV y el 39% restante de 230 KV Ver láminas 12, 13 y 14.

De la capacidad total requerida por el sistema de transformación, el 23% corresponde a transformadores de 400 230 KV, 37% de 400-115 KV y 40% de 230-115 KV. Ver lámina 15.

- El programa de Proyección de Inversiones necesarias para llevar a cabo el conjunto de aspectos anteriormente presentados, se desglosa en dos tipos de obras por períodos sexenales, de 1983-2000. Primeramente se presenta el programa de inversión para el sistema de generación, (Ver lámina 16) y en segundo término para el sistema de transmisión, (Ver lámina 17) y en seguida el correspondiente a los sistemas de transformación, (Ver lámina 18) y para terminar se muestra el resumen de inversiones totales para estos conceptos. Ver lámina 19.

El estudio del PESE 2000, como reflexiones finales, nos señala que: la tasa de crecimiento de la población deberá disminuir paulatinamente y que la situación económica tenderá a mejorar gracias a la abundancia de hidrocarburos, cuya utilización repercutirá en un desarrollo industrial intenso, causando un aumento en el consumo de energía eléctrica.

Igualmente nos aclara que con estos estudios no se pretende definir en forma precisa lo que va a ocurrir, sino más bien, dar lineamientos generales para orientar las decisiones programáticas en lo referente al sector eléctrico.

ESCENARIO DE DESARROLLO
CRECIMIENTO DE POBLACION

HIPOTESIS	TASA EN %	PROBABILIDADES EN %
Baja	2.7	30
Media	3.1	50
Alta	3.5	20

CRECIMIENTO DEL PRODUCTO NACIONAL BRUTO

HIPOTESIS	TASA EN %	PROBABILIDADES EN %
Baja	4.5	30
Media	5.5	50
Alta	6.5	20

GENERACIONES BRUTAS ANUALES EN GWH

PERIODO 1978-2000

1978	60081	
1979	65749	Generaciones Históricas
1980	72098	
1981	79902	

PRONOSTICOS

	BAJO	MEDIO	ALTO
1982	75 362	79 902	80 483
1983	81 843	84 429	88 854
1984	88 881	96 872	98 095
1985	96 525	106 310	108 296
1986	104 826	116 603	119 559
1987	113 841	127 570	131 994
1988	123 632	139 668	145 721
1989	134 264	156 793	160 876
1990	145 810	168 482	177 607
1991	158 350	184 265	196 078
1992	171 968	201 337	216 470
1993	186 758	219 997	238 983
1994	202 819	240 185	263 837
1995	220 261	261 910	291 276
1996	239 204	285 669	321 569
1997	259 775	311 467	355 012
1998	282 116	338 820	391 933
1999	306 378	368 706	432 694
2000	332 726	400 648	477 695

DEMANDAS MAXIMAS ANUALES EN MW.

PERIODO 1978 - 2000

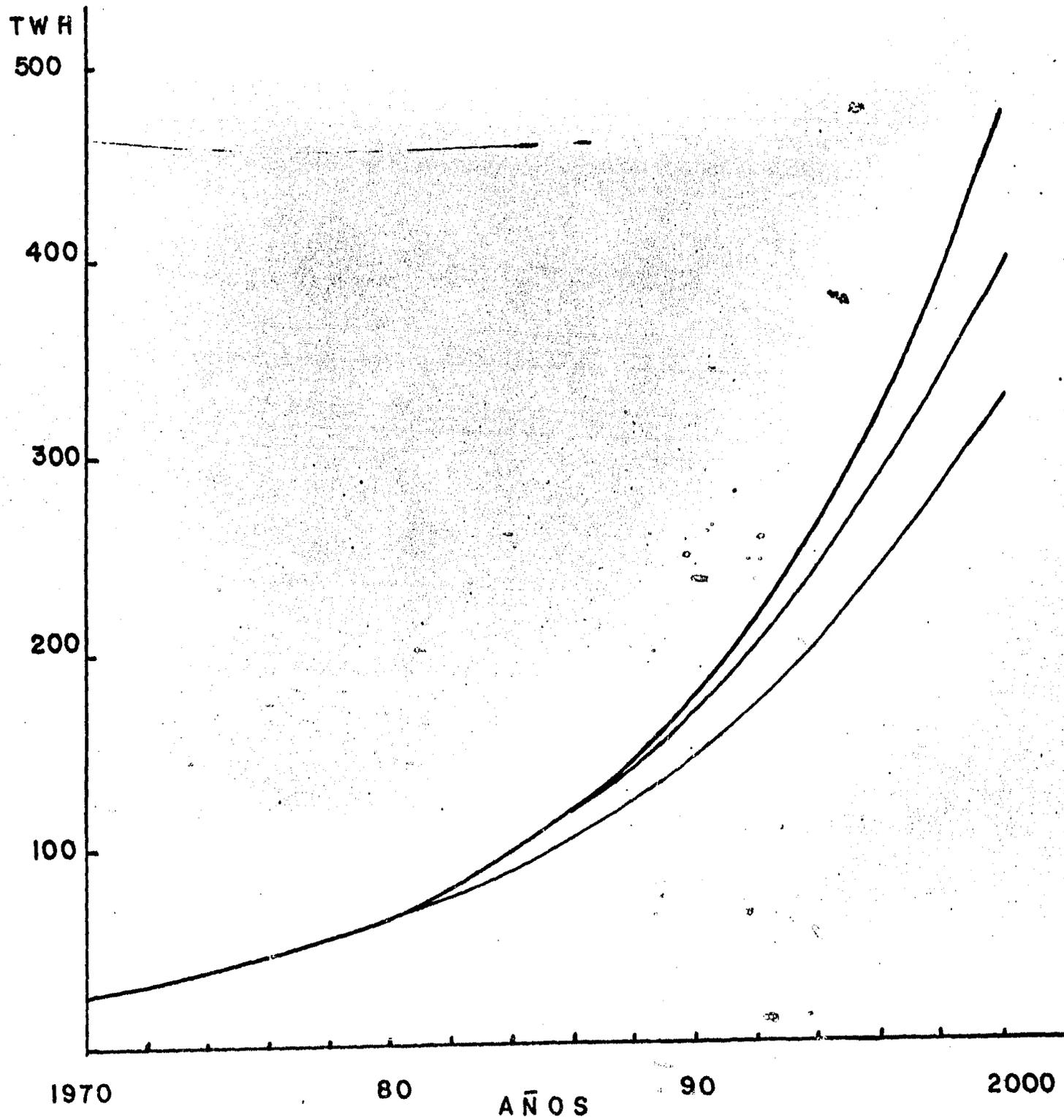
SECTOR ELECTRICO NACIONAL

1978	9988	
1979	11046	
1980	12041	DEMANDAS HISTORICAS.
1981	13196	

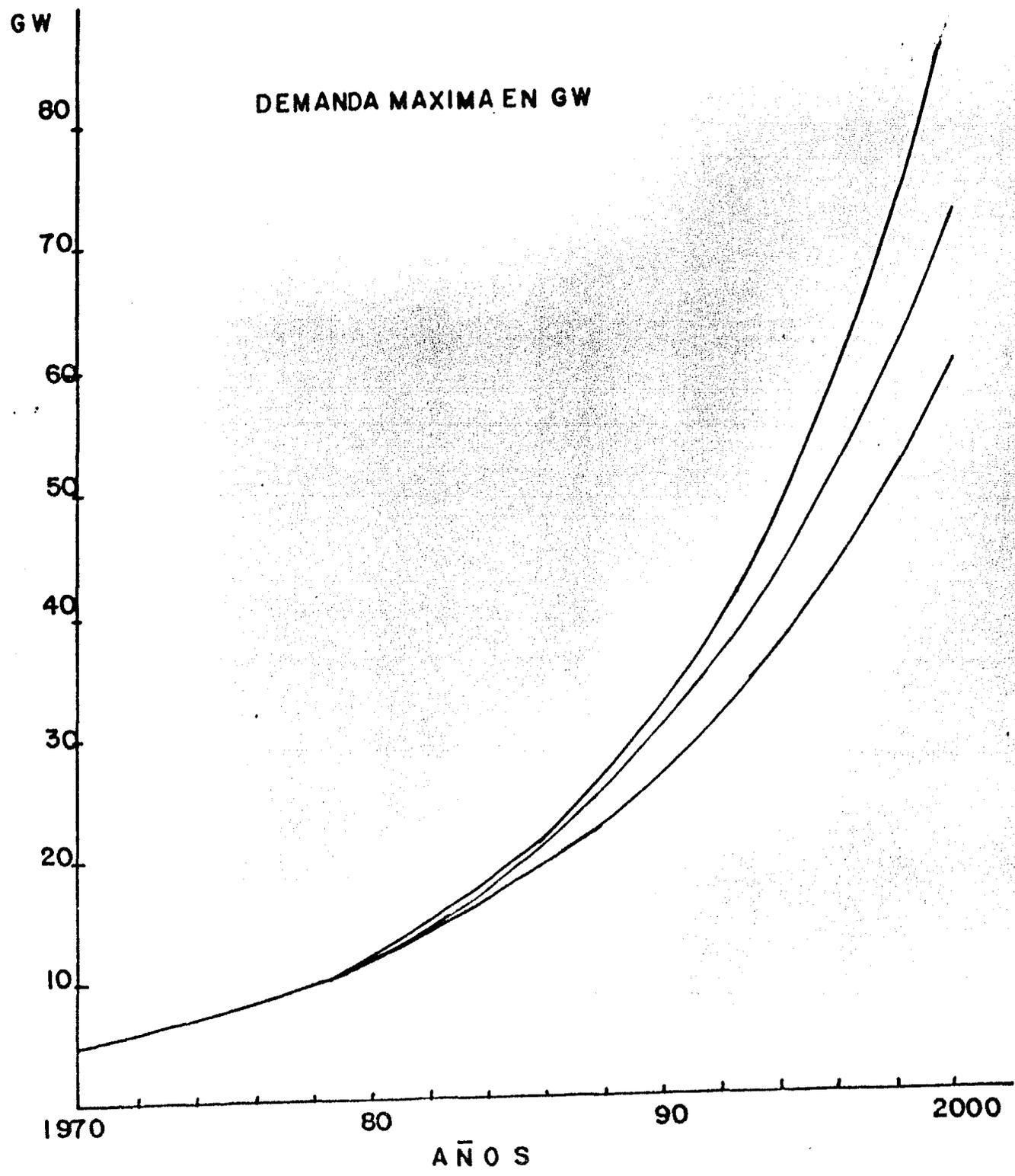
P R O N O S T I C O S

	BAJO	MEDIO	ALTO
1982	13833	14 666	14 773
1983	15663	16 158	17 005
1984	16218	17 676	17 899
1985	17600	19 384	19 746
1986	19176	21 330	21 871
1987	20786	23 293	24 101
1988	22520	25 441	26 544
1989	23976	29 999	28 728
1990	26490	30 609	32 267
1991	28736	33 439	35 583
1992	31172	36 496	39 239
1993	33821	39 840	43 278
1994	36694	43 454	47 733
1995	39814	47 342	52 650
1996	43199	51 591	58 074
1997	46872	56 199	64 056
1998	50856	61 078	70 652
1999	55181	66 407	77 932
2000	59875	72 098	85 963

CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA EN TWH.



LAM 4



LAM 5

41

T A S A S D E C R E C I M I E N T O

HISTORICA

(1962-1977)

6.24 %

3.69 %

PNB

HAB

HIPOTESIS

BAJA

MEDIA

ALTA

4.5%

5.5 %

6.5%

2.7%

3.1%

3.5%

HISTORICA

(1962-1977)

10.69 %

KWH

ESCENARIO

BAJO

MEDIA

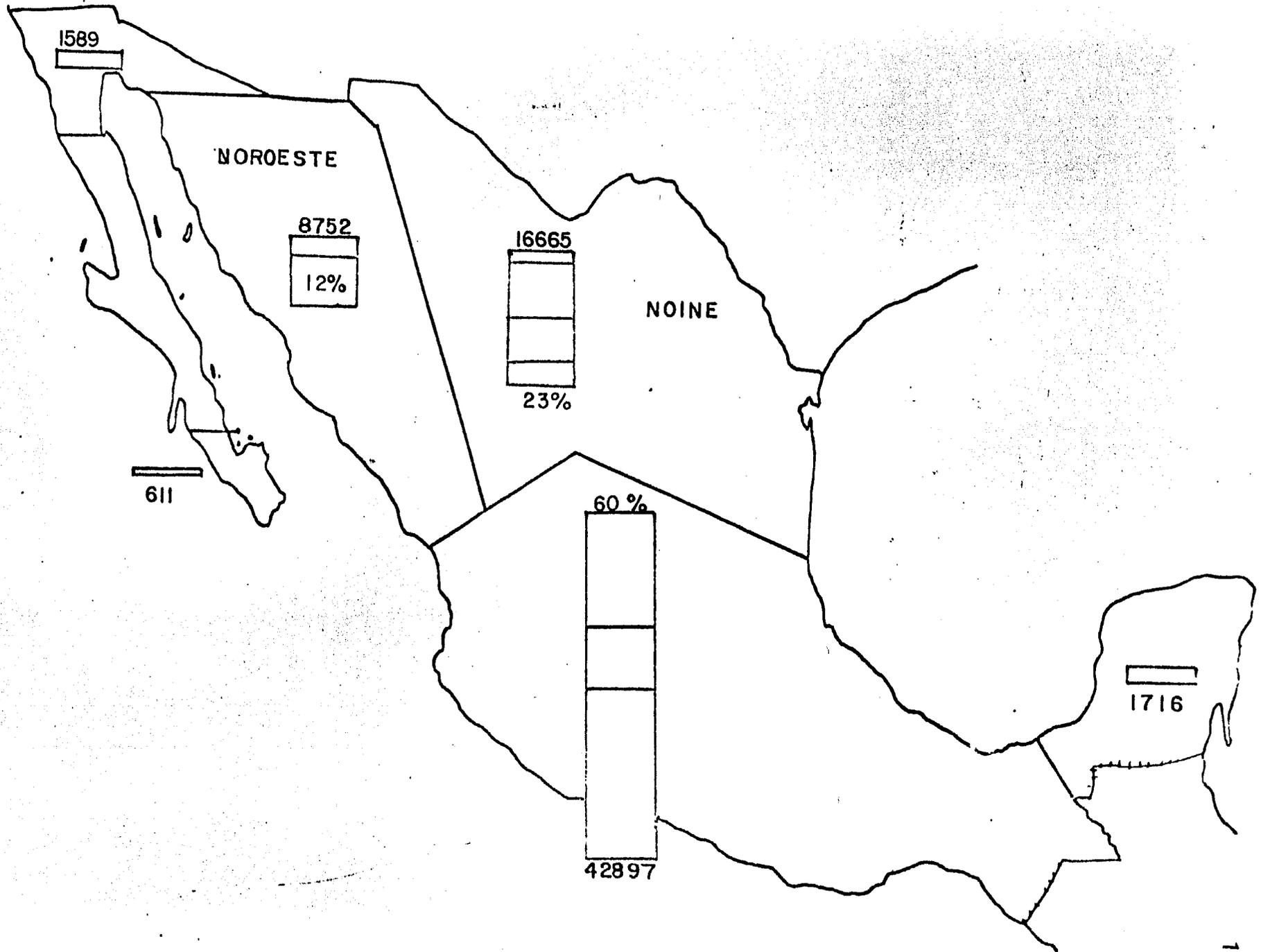
ALTO

8.6%

9.52%

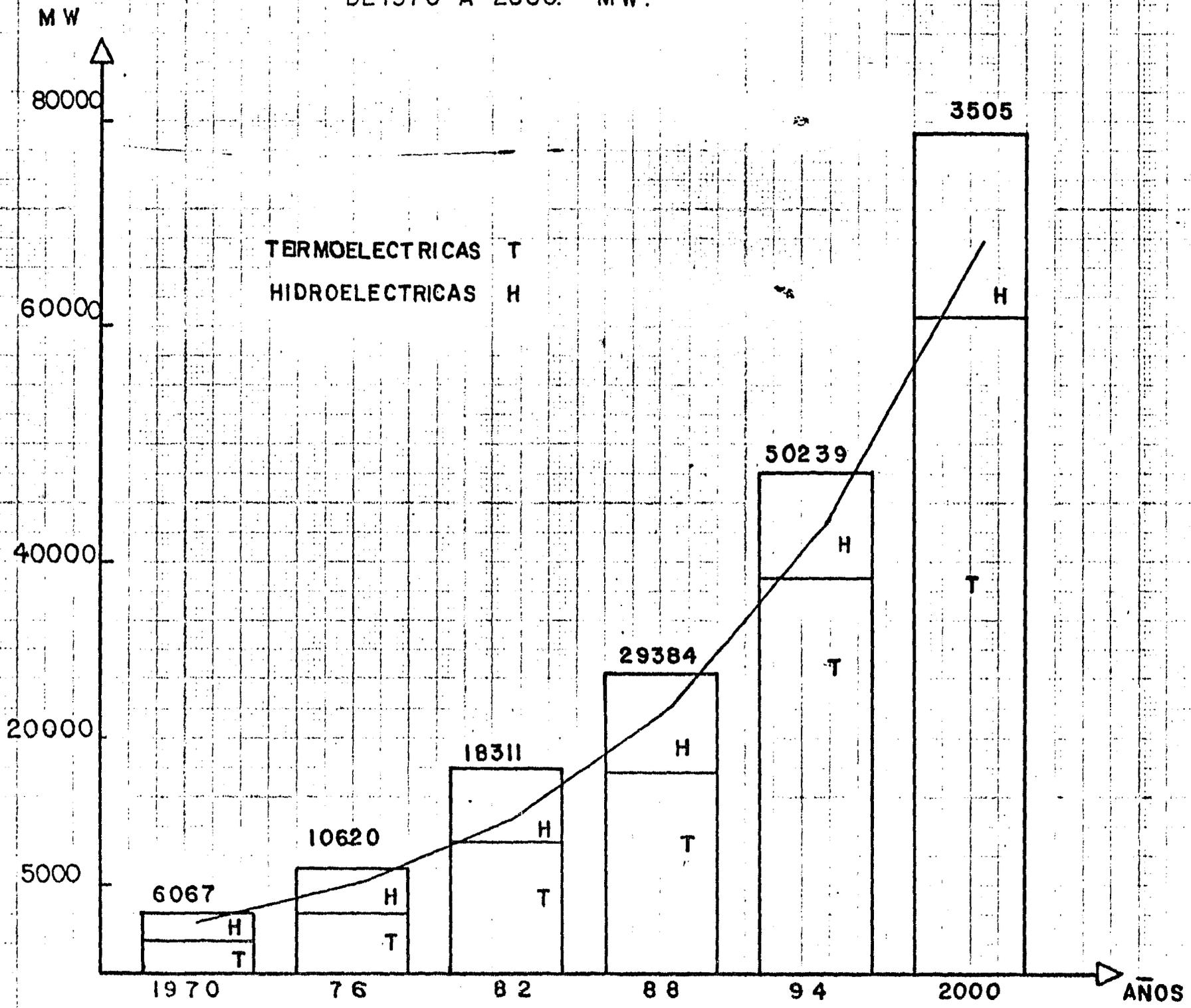
10.4%

DISTRIBUCION REGIONAL DE LA DEMANDA EN MW.
AÑO 2000.



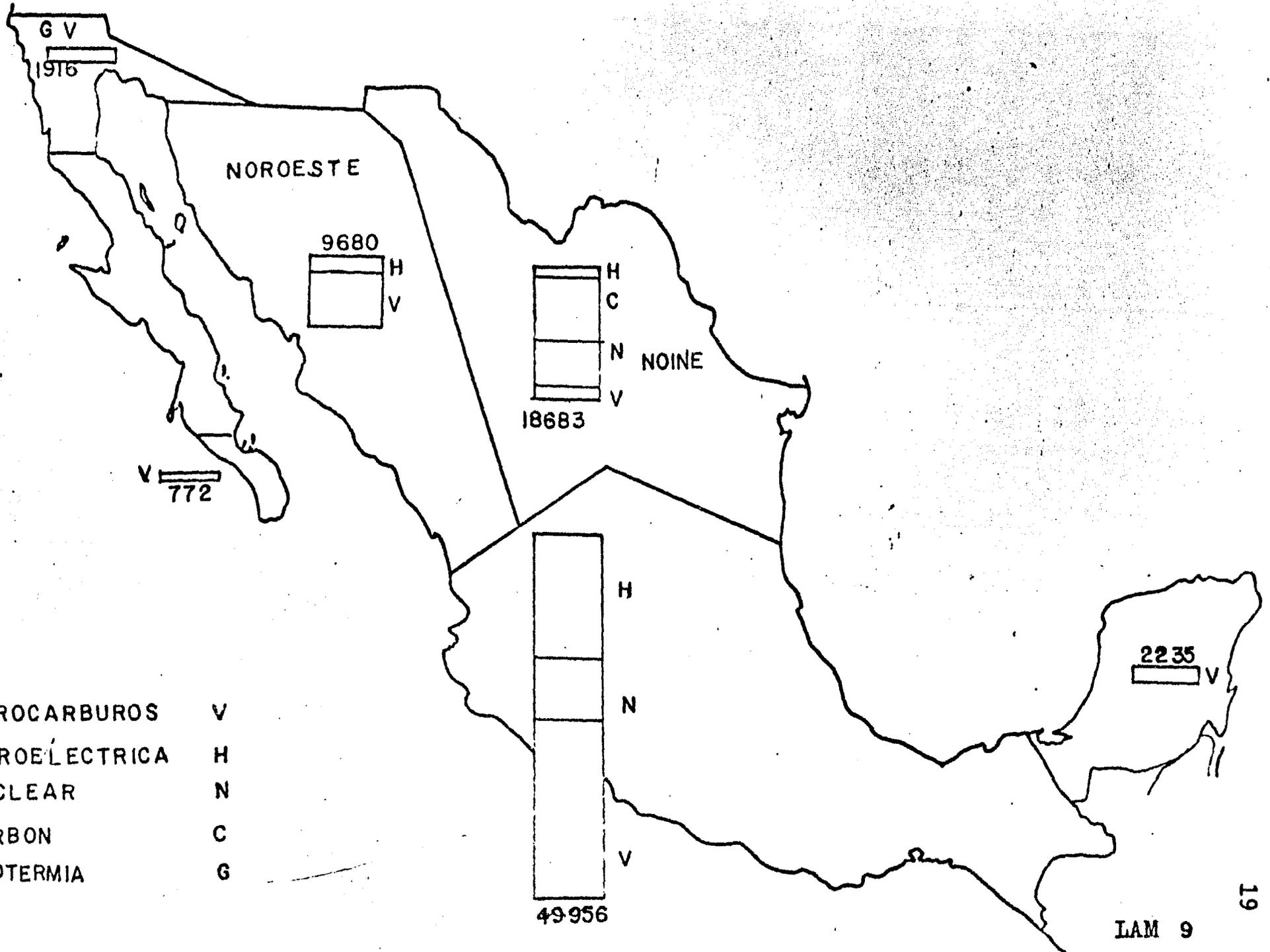
500

DEMANDA MAXIMA VS. CAPACIDAD INSTALADA
DE 1970 A 2000. MW.



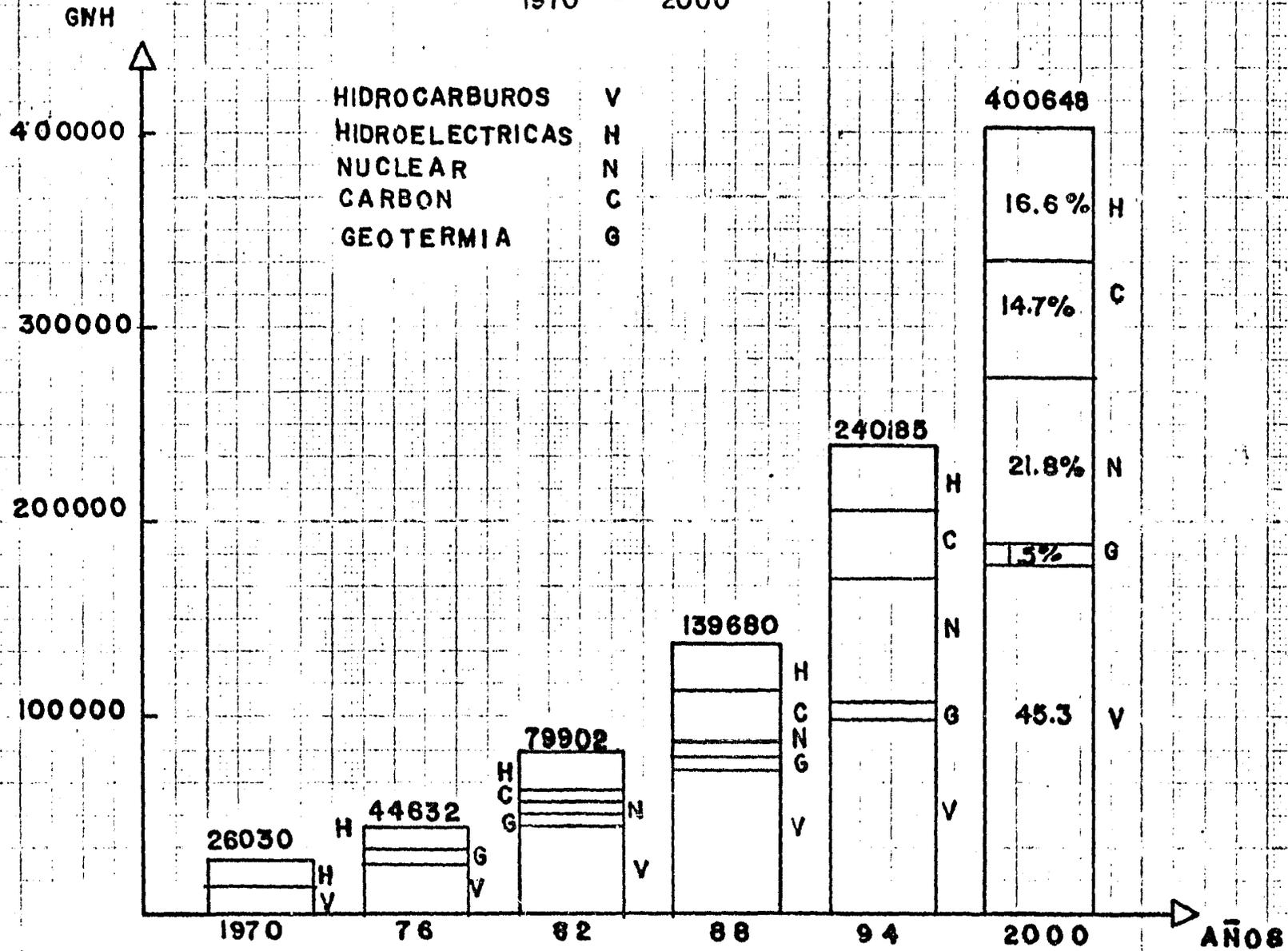
CAPACIDAD INSTALADA EN MW.

AL AÑO 2000.



COMPOSICION DEL SISTEMA DE ENERGIAS PRODUCIDAS

1970 - 2000



LAM 10

20

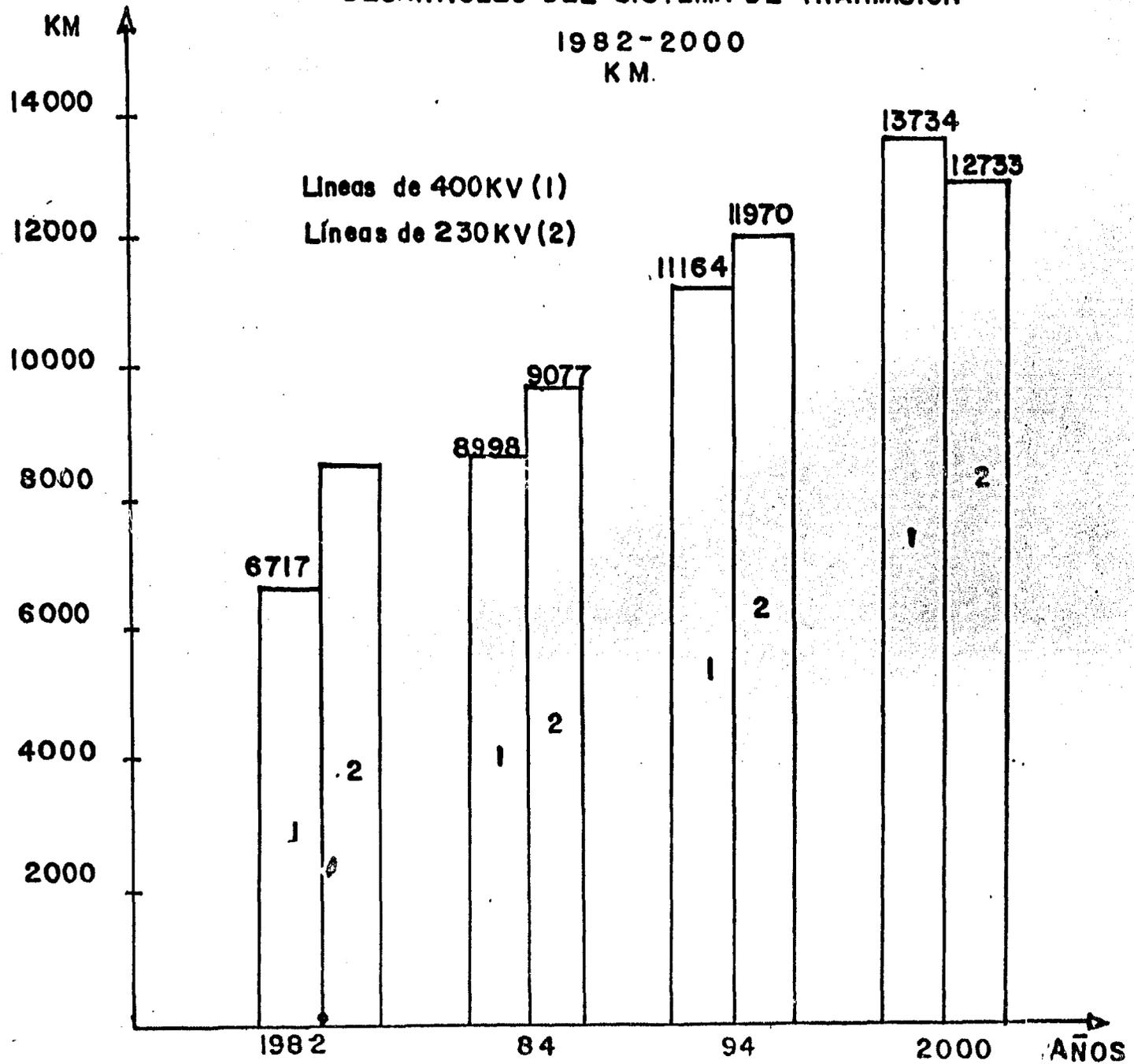
PROGRAMAS DE CONSTRUCCION POR PERIODOS MW.

TIPO DE PLANTAS	1983 - 1988	1989 - 1994	1995 - 2000
Hidrocarburos y Nuclear	5,466	17,136	20,224
Hidroeléctricas	3,158	1,059	8,112
Geotermia	250	330	440
Carbón	2,100	2,400	3,300
TOTAL	10,974	20,925	32,076

DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRANSMISION

1982-2000

KM.



LAM 12

SISTEMA DE TRANSMISION AL AÑO 2000



--- Lineas de 230KV
— Lineas de 400KV

PROGRAMAS DE CONSTRUCCION DEL
SISTEMA DE TRANSMISION

K I L O M E T R O S D E L I N E A S

LINEAS DE TRANSMISION	83 - 88	89 - 94	95 - 2000	83 - 2000
400 K.V.	2281	2166	2570	7017
230 K.V.	1187	2493	763	4443
T O T A L	3468	4659	3333	11460

**PROGRAMAS DE CONSTRUCCION DEL
SISTEMA DE TRANSFORMACION.
VALORES EN MVA.**

	83 - 88	89 - 94	95 - 2000	83 - 2000	
400/230 K.V.	3390	6225	6000	15,615	23%
400/115 K.V.	2432	12050	10100	24,582	37%
230/115 K.V.	5560	8750	12200	26,510	40%
T O T A L	11382	27025	28300	66,707	

PROGRAMAS DE INVERSIONES POR PERIODO
SISTEMAS DE GENERACION
(MILLONES DE PESOS)

TIPO DE PLANTA	83 -88	89 - 94	95 - 2000	83 -2000
Hidrocarburos y Nuclear	54621	184,056	186,999	425,676
Hidroeléctricas	41329	13,859	106,162	161,350
Geotermia	4143	5,161	6,882	16,186
Carbón	23957	27,379	37,646	88,982
T O T A L	124050	230,455	337,689	692,194

**INVERSIONES PARA EL SISTEMA DE TRANSMISION-
(MILLONES DE PESOS)**

LINEAS DE TRANSMISION	83 - 88	89 - 94	95 - 2000	83 - 2000
400 K.V.	3,361	3,191	3,787	10,339
230 K.V.	964	2,024	620	3,608
T O T A L	4,325	5,215	4,407	13,947

Lámina 17.

INVERSIONES PARA EL SISTEMA DE TRANSFORMACION
(MILLONES DE PESOS)

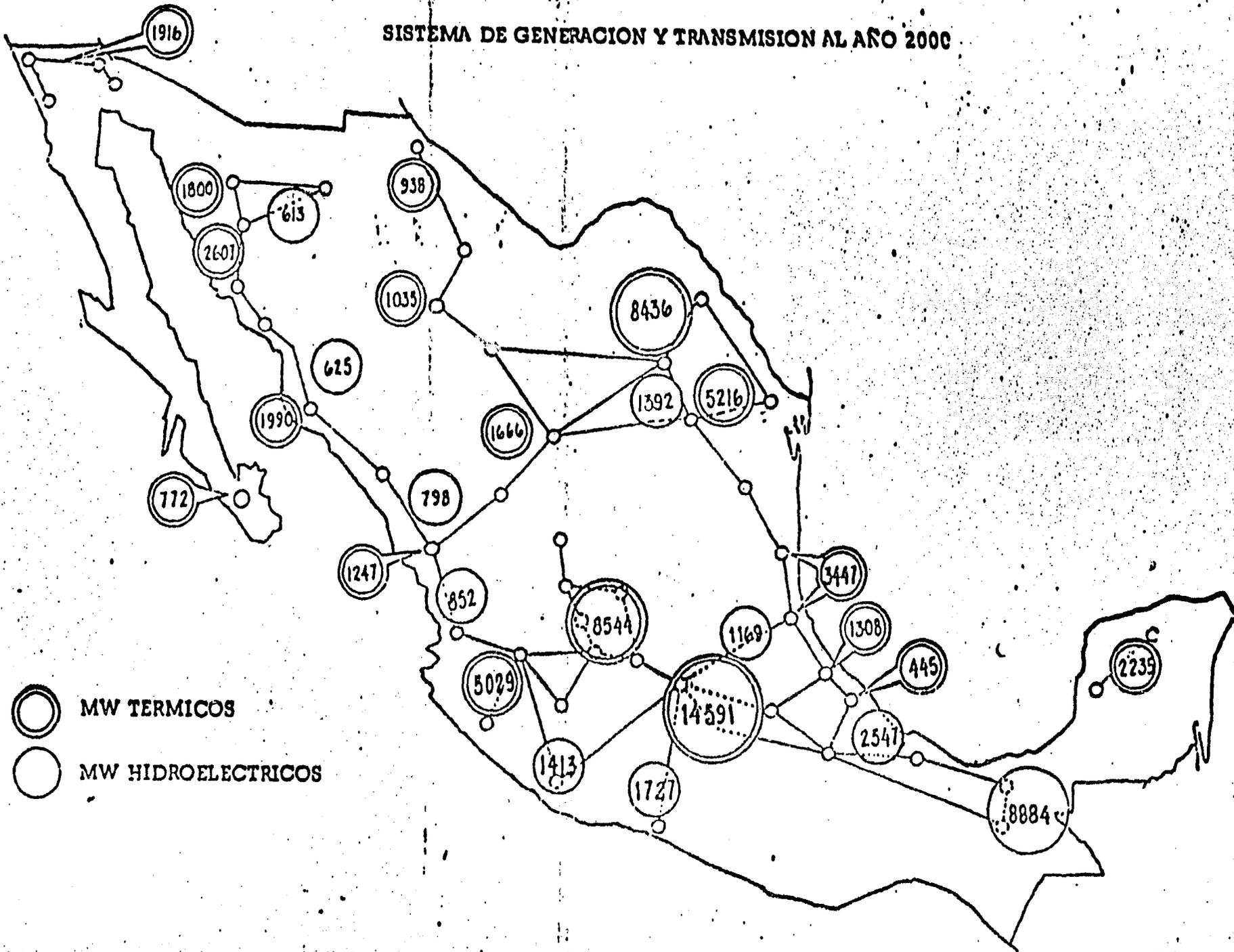
LINEAS DE TRANSMISION	83 - 88	89 -94	95 - 2000	83 - 2000
400/230 K.V.	655	1203	1,160	3,018
400/115 K.V.	366	1815	1,522	3,703
230/115 K.V.	663	1043	1,454	3,160
T O T A L	1684	4061	4,136	9,881

I N V E R S I O N E S T O T A L E S

CONCEPTO	83 - 88	89 - 94	95 - 2000	83 - 2000
Generación	124,050	230,455	337,689	692,194
Transmisión	4,325	5,215	4,407	13,947
Transformación	1,684	4,061	4,136	9,881
T O T A L	130,059	239,731	346,232	716,022

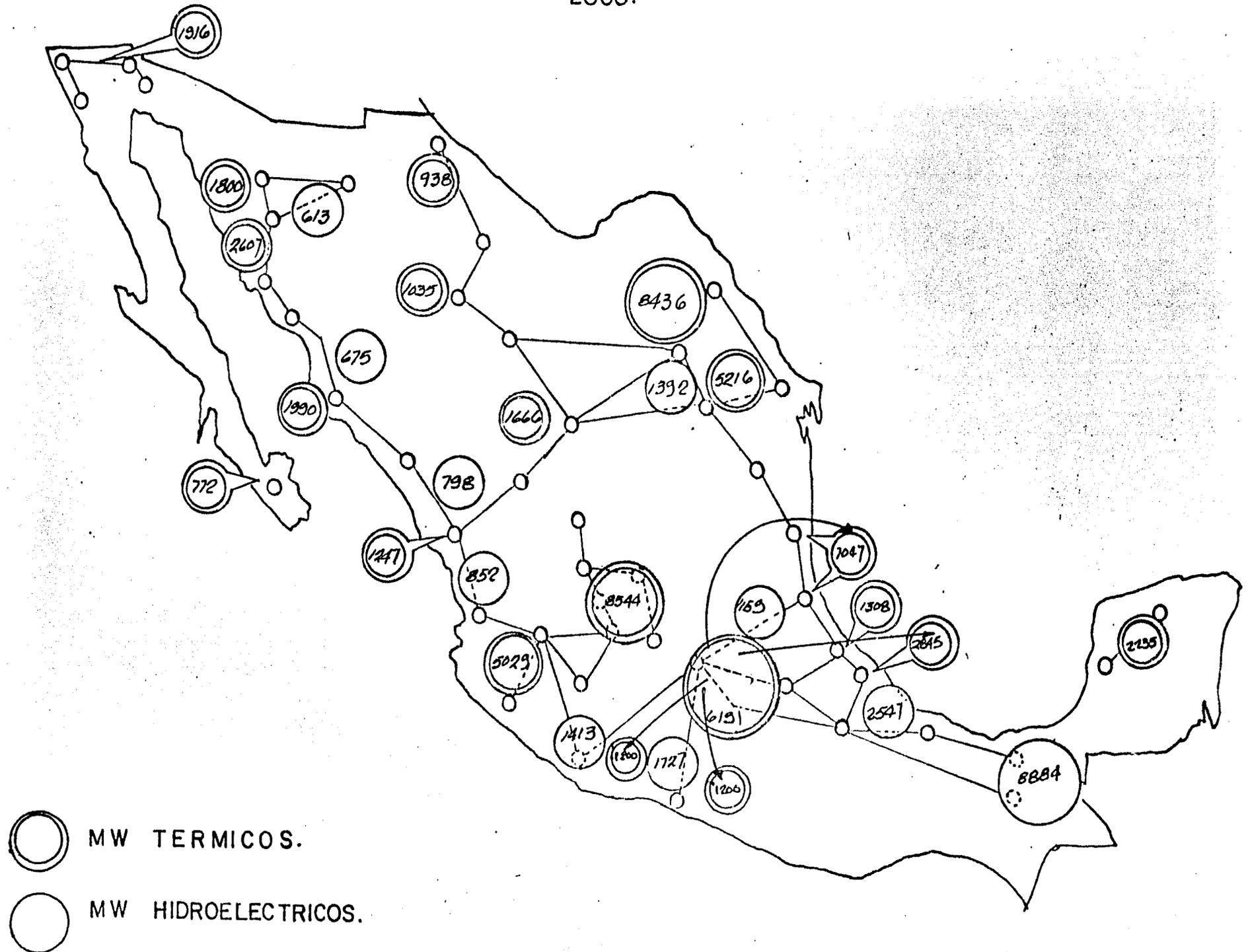
Lámina 19

SISTEMA DE GENERACION Y TRANSMISION AL AÑO 2000



- MW TERMICOS
- MW HIDROELECTRICOS

SISTEMA DE GENERACION Y TRANSMISION AL AÑO
2000.



En vista de la gran cantidad de energía eléctrica por "crear", y necesariamente por transportar, se requiere de una tecnología apropiada para poder afrontar y corresponder al gran reto que en esta materia nos depara el futuro.

Es en lo concerniente al transporte, que se trata en la medida de lo posible, de contribuir a la formación de una infraestructura tecnológica.

Como podemos visualizar, el diseño de torres de transmisión es, y seguirá siendo, una actividad indispensable y remunerativa que desde luego, debe enfocarse a obtener las estructuras que satisfagan los requisitos de seguridad y operación, y además, resulten de menor costo total considerando todos los factores involucrados que ya antes mencionamos: eficiencia estructural, fabricación, transporte, montaje, erección, etc.

El objetivo de esta tesis es el de proporcionar la infraestructura para el análisis y diseño de torres de transmisión. Para ello en el siguiente capítulo se describen algunos conceptos generales sobre torres de transmisión, así como los parámetros que determinan su configuración y las solicitaciones a que están sujetas.

El tercer capítulo trata de las especificaciones más comunes para la estructuración, análisis y diseño de torres así como sus cimentaciones.

En el cuarto capítulo se presentan los criterios de análisis convencionales y por computadora.

A continuación se habla sobre las consideraciones a tomar en el diseño de las torres de transmisión. Así como un breve estudio a las conexiones.

Y a manera de resumen se presenta un ejemplo que marca la utilización de los conceptos antes expuestos.

Finalmente se presentan las conclusiones de esta tesis, además, se adjuntan apéndices con algunos estudios y programas, de calculadora y computadoras, que agilizan los cálculos, así como tablas de capacidades de carga de ángulos y tornillos, que son ayudas que facilitan el diseño de las torres de transmisión.

C A P I T U L O 2

.CONCEPTOS GENERALES SOBRE TORRES DE TRANSMISION.

2.1). Introducción.

Una línea de transmisión de energía eléctrica se compone básicamente de cables conductores de la energía y las estructuras para soportarlos estas pueden ser postes o torres. Las líneas pueden ser de uno o dos circuitos, por lo general trifásicas, teniendo uno o varios conductores por fase. Adicionalmente se colocan cables que no transportan corriente y que se conocen como hilos de guarda, los cuales sirven para proteger a los conductores y a las torres de la incidencia de rayos.

La función primordial de las torres de transmisión es la de sostener a los conductores e hilos de guarda en forma tal que la conducción de la electricidad sea segura y lo más eficiente posible, esto implica evitar la formación de circuitos cortos (corto circuito), pérdidas de energía durante la transmisión, peligro de electrocuciones, destrucción por rayos, etc.

Además debe garantizar la integridad misma de la estructura ante la acción de fenómenos naturales tales como viento, sismo, etc.

Las torres de transmisión empleadas como soporte están conformadas con perfiles angulares laminados unidos entre sí por tornillos; los montantes o -

patas de las torres se disponen generalmente en sección cuadrangular, manteniéndose separadas por otros perfiles usados como riostras, estos últimos conforman lo que llamamos celosía. (Fig. 2.1.1)

2.2). Descripción de torres de transmisión y definición de conceptos,

Las torres de transmisión constan esencialmente de un cuerpo básico, brazos, una o varias cruces (que es donde se sostienen los conductores) y copetes (que sostienen los hilos de guarda).

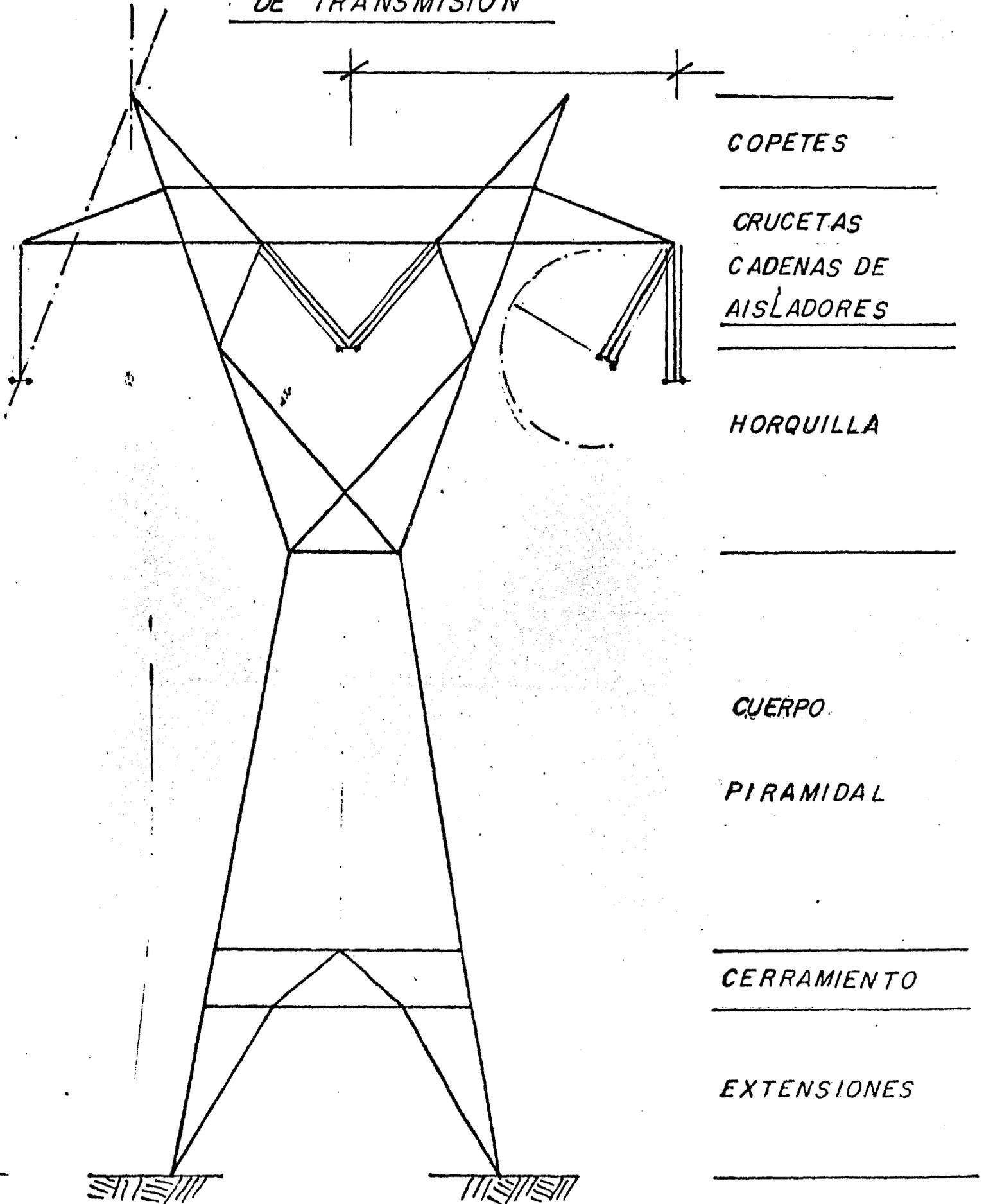
Ver Fig. 2.1.

La geometría de la torre de transmisión está definida principalmente por requisitos eléctricos de seguridad, los cuales se ilustran en la figura 2.1 y son:

- Separación entre conductores.
- Separación entre conductores y estructura.
- Distancia entre conductores y terreno.
- Angulo de protección entre conductores e hilos de guarda.
- Uso de cadenas de aisladores. Para aislar eléctricamente la estructura de los conductores.

Los conductores son cables desnudos o aislados, libremente tendidos entre los apoyos de una línea de transmisión. El conductor múltiple o haz de conductores es la combinación de dos o más conductores.

COMPONENTES DE UNA TORRE
DE TRANSMISION



COPETES

CRUCETAS

CADENAS DE
AISLADORES

HORQUILLA

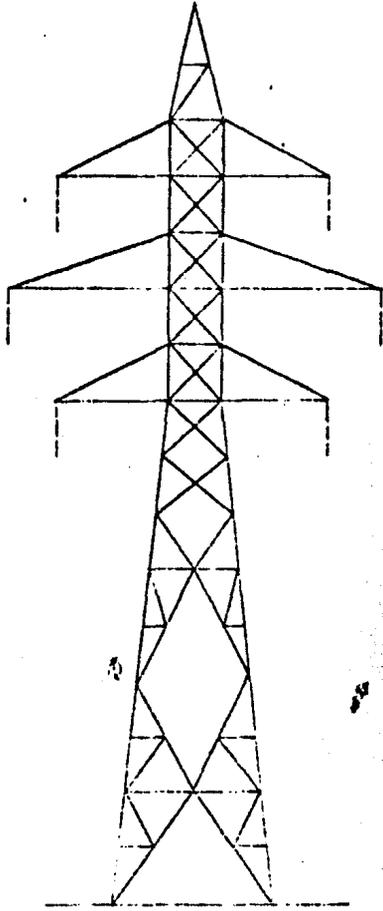
CUERPO

PIRAMIDAL

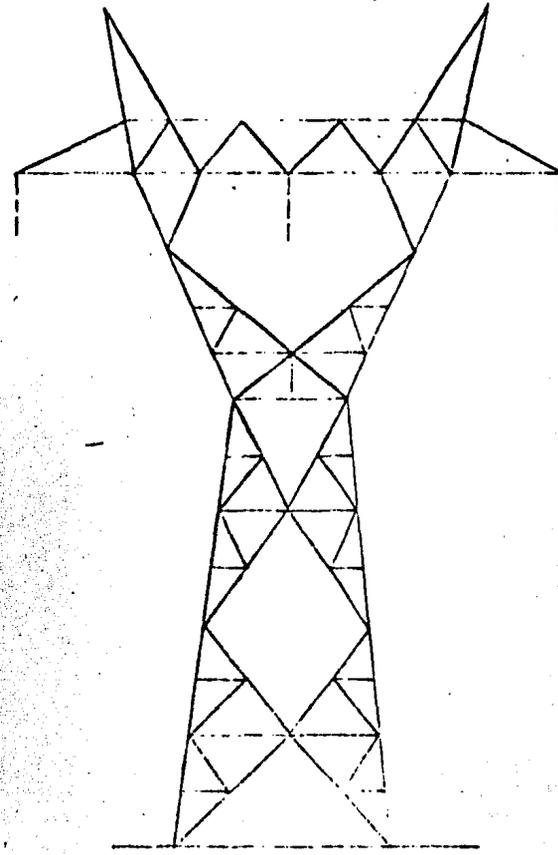
CERRAMIENTO

EXTENSIONES

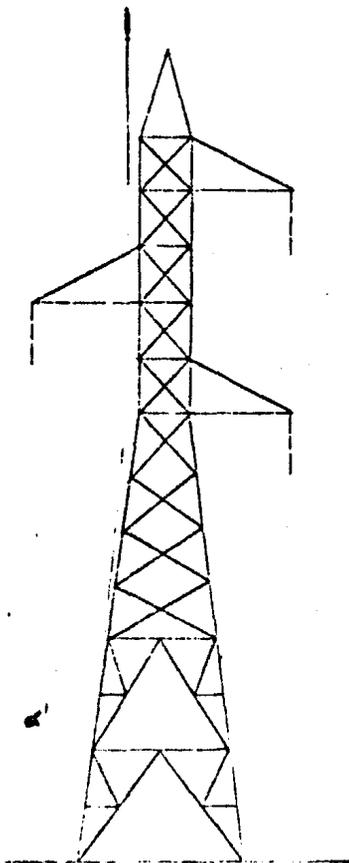
FIG 2.1



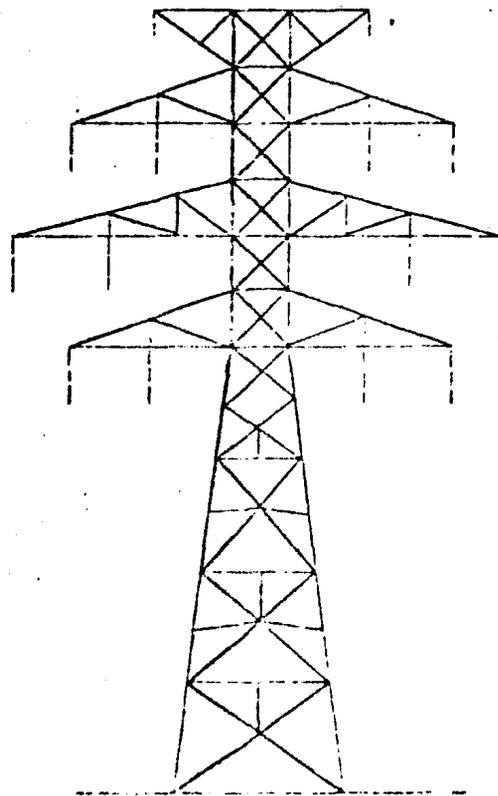
VERT 2 CIRC.



DELTA 1 CIRC.



VERT 1 CIRC.



VERT 3 CIRC.

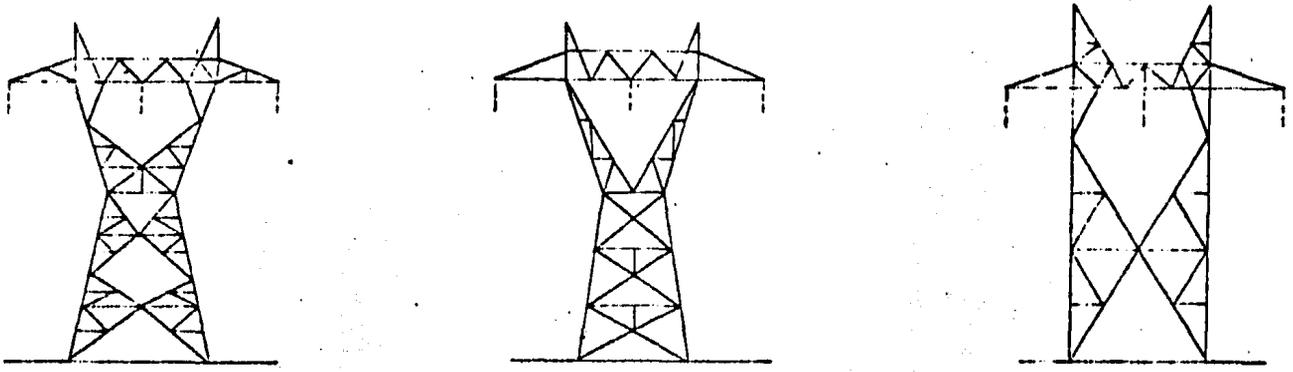
Todos los requerimientos eléctricos son, a su vez, función de las características de la transmisión, el voltaje (los mas usuales en México son 115, 230 y 400 KV), el medio ambiente, la temperatura ambiente, la altitud, demografía del lugar donde se construya la torre o la línea, etc.

Además habrá que considerar particularidades del terreno, como son: topografía, orografía, características geológicas locales, existencia de arbolado, ferrocarriles, etc., así como las condiciones económicas de las zonas por donde pase la línea de transmisión.

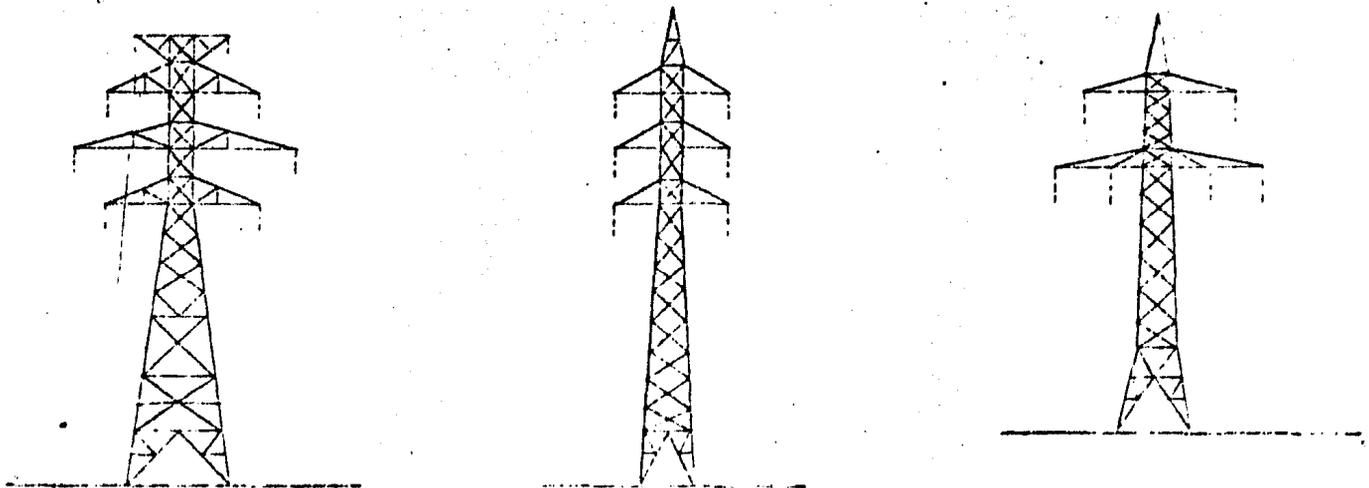
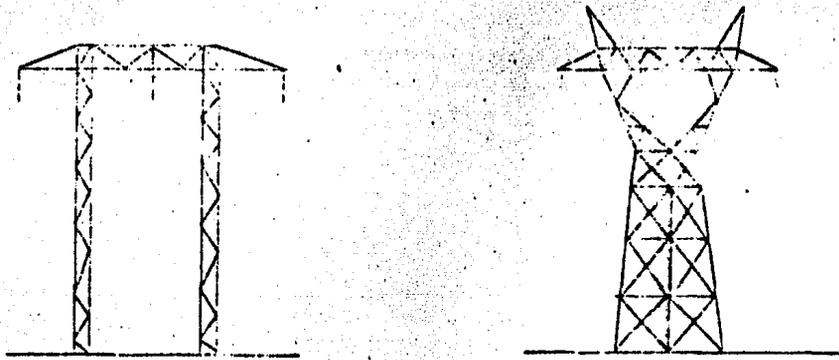
Desde luego será de vital importancia todos y cada uno de los puntos anteriormente descritos, considerados también en su aspecto económico.

Basados en todas las consideraciones anteriores, pueden existir varias formas de disponer los conductores. Pueden colocarse en varios niveles (disposición vertical), por lo cual se necesitarán varias crucetas. Fig. 2.2 .

Se puede mencionar que la disposición horizontal a un solo nivel presenta la ventaja de precisar menor altura de torre, así mismo desaparece el peligro de contacto o excesiva aproximación entre conductores superiores o inferiores, ya que al presentarse el fenómeno de "galopeo" (movimientos verticales de los conductores debidos al despredimiento de hielo) estos son violentamente despedidos hacia arriba, lo que provoca el choque de conductores.



DISTRIBUCION HORIZONTAL.



DISTRIBUCION MIXTA

cuando existe disposición vertical. Otra ventaja de este tipo de disposición se presenta durante el montaje, ya que la existencia de varias crucetas inferiores dificulta un poco más la instalación de los conductores.

Por otro lado, una desventaja sería que la gran longitud de crucetas requiere un mayor ancho de vía (lo que hoy en día resulta muy costoso), ya que es necesario talar anchas fanjas de arbolado y también provoca grandes esfuerzos de torsión sobre el cuerpo de la torre en caso de rotura de un cable extremo, esta circunstancia haría necesario un diseño del cuerpo de la torre más pesado y, obviamente, aumentaría el costo. Estas desventajas no se presentan cuando la disposición de los conductores es vertical.

Por lo anterior es necesario evaluar las ventajas y desventajas del arreglo de los conductores en cada caso, para elegir la más adecuada.

En muchas ocasiones se opta por una solución mixta y generalmente en dos niveles.

2.3). Clasificación de las torres de transmisión.
Podemos clasificar a las torres para líneas de transmisión según tres factores:

- Su función.

- Su soporte.
- Su estructuración.

2.3.1) Clasificación de las torres según su función.

Dentro de una línea de transmisión, las torres que la componen están sometidas a diferentes sollicitaciones, dependiendo de la posición que ocupan; es por esto que no todas las torres de transmisión son iguales, su configuración depende de las condiciones de carga normales o especiales a las que están sujetas. En base a esto, las torres de transmisión se clasifican comunmente como sigue:

Torres de suspensión o en tangente.-

Estas son las torres que se emplean exclusivamente en tramos de líneas rectas o cuando el ángulo de deflexión es menor de 5° .

Torres de deflexión.- Estas se utilizan en puntos en donde la línea de transmisión cambia de dirección, pueden ser de 15° , 30° , 45° , 60° ó 90° .

Torres de tensión.- Estas torres sirven para proporcionar puntos firmes en la línea, y limitan la propagación de esfuerzos longitudinales de carácter excepcional en ésta. Esto puede ser la rotura de un conductor. Generalmente se disponen en tramos rectos de 2 ó 3 Km, en sustitución de las torres de suspensión. Algunas veces se les denomina torres de amarre.

Cabe mencionar que una torre de deflexión cuando el ángulo de la misma es mayor de 10° generalmente es también una torre de tensión.

Torres de remate o de anclaje.- Este tipo de torres se colocan al principio y al final de la línea de transmisión y debe resistir todas las sollicitaciones a las que se vea sujeta, en el sentido longitudinal de la línea, ya sean las debidas a conductores como las debidas a hilos de guarda.

Torres de Transposición.- Estas torres son usadas para permitir el cruce de líneas de transmisión ya sea con otra línea de transmisión, con líneas de telecomunicaciones, con líneas de ferrocarril, etc.

Torres Especiales.- Entre estas podemos citar torres para cruces de rios muy importantes, torres de derivación y torres de bifurcación.

Estas dos últimas, como su nombre lo indica, se utilizan para derivar y bifurcar una línea de transmisión en varias direcciones.

Dentro de la clasificación antes mencionada podemos mencionar que las torres que generalmente resultan más ligeras son las torres de suspensión o en tangente, ya que bajo condiciones normales de diseño están sujetas solamente a cargas verticales. Las cargas horizontales debidas a las tensiones de los cables en los dos claros adyacentes, se compensan entre sí.

Por otro lado, las torres de remate son las más pesadas por estar sometidas, en condiciones normales, a las cargas más severas, ya que las cargas horizontales para un claro son máximas, pero para el otro son nulas.

2.3.2). Clasificación de las torres según su soporte.

No obstante que existe una gran variedad de formas de torres de transmisión, por su consideración de soporte sólo existen dos tipos: las torres autosoportadas y las torres con retenidas.

Las torres autosoportadas, como su nombre lo indica, no necesitan de aditamentos para conservar su estabilidad. Están apoyadas y soportadas por sus propias patas. Estas pueden ser 4, 6 o más.

Por otra parte en las torres con retenidas su estabilidad depende, casi por completo, de la acción de cables o retenidas. El cuerpo básico de este tipo de torres está formado por uno o varios mástiles dispuestos en forma de V o Y o el llamado tipo portal. Ver Fig. 2.3.1.

2.3.3). Clasificación de las torres según su estructuración o forma.

En las torres de transmisión generalmente la forma de la silueta va unida a un determinado tipo de estructuración. Podemos citar las torres verticales o torres tipo delta esta "clasificación" puede indicar el tipo de estructuración de la torre y a la vez forma de la silueta de la misma.

El otro tipo de estructuración sería el interno y corresponde generalmente a la disposición de los perfiles que sirvan para "arriostrar" las patas, esto es la celosía.

La celosía puede ser cruzada (en forma de cruces) a esta celosía se le denomina normal. Otro tipo de celosía puede estar formada por cruz doble, a la que se denomina celosía italiana, también existe otro tipo de celosía que forma rombos, además tenemos una distribución de celosías a base de "Kas" Ver Fig. 2.3.2.

En cada caso, la elección entre una torre y otra dependerá de los siguientes factores: El voltaje a transmitir, el código de diseño adoptado, el costo del derecho de vía, la naturaleza del terreno, lo remoto de la localización y su accesibilidad, el costo de otros aspectos (como pueden ser su fabricación y montaje), el costo del material, el costo de la cimentación, así mismo, la familiaridad que se tenga con uno u otro tipo de torre y la certeza de su economía y seguridad.

Cabe mencionar que el uso de las torres autosoportadas está más generalizado en nuestro país. Las torres con retenidas se han empleado poco y para bajos voltajes. Hoy en día se están llevando a cabo nuevos estudios para hacer y tener más accesibles las ventajas que ofrece este tipo de torre.

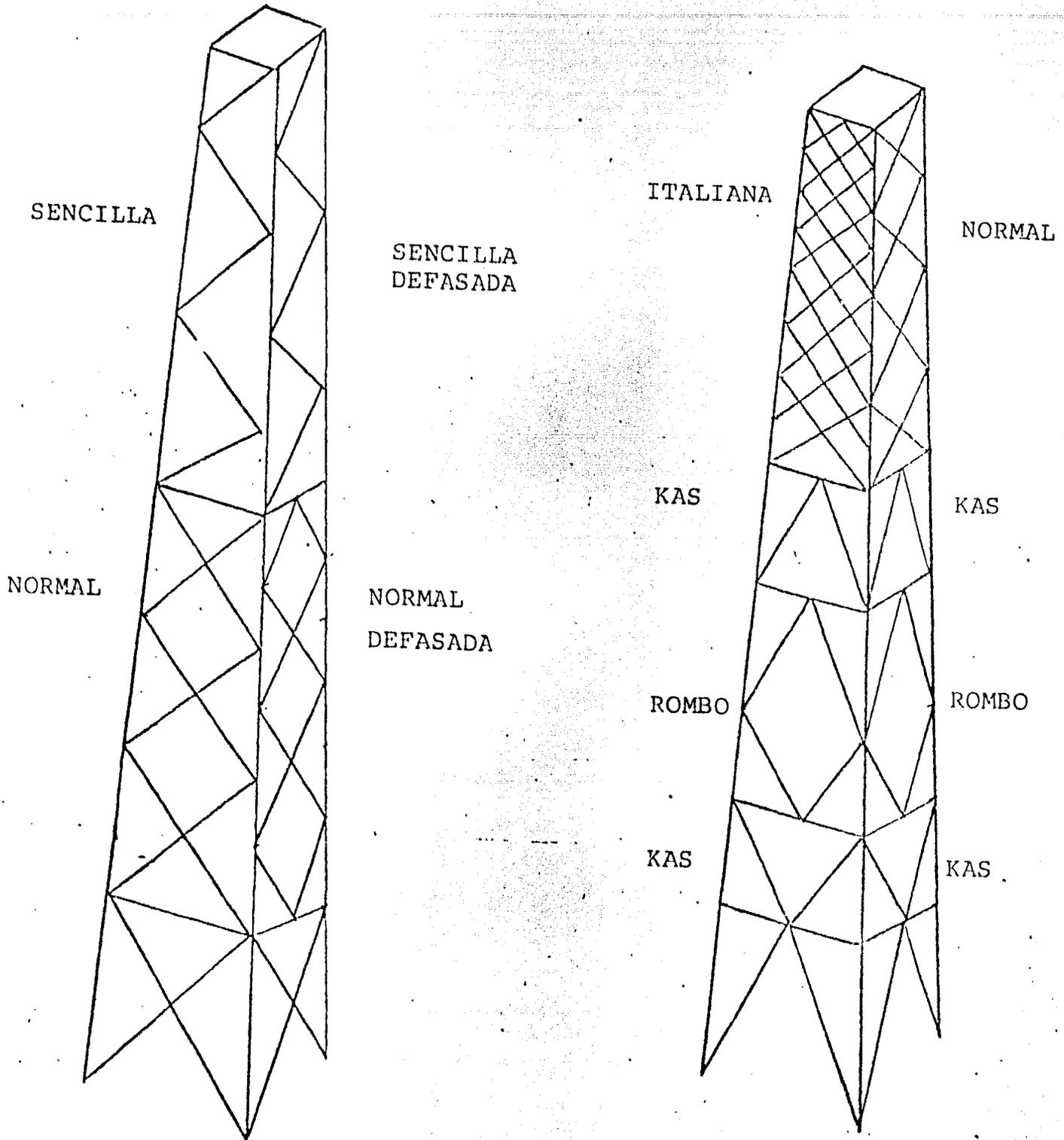


FIG. 2.3.2.

2.4.) . Solicitaciones.

Las torres para líneas de transmisión están sometidas en forma general a tres tipos de cargas:

- a). Carga muerta.- Es la carga permanente que actúa en la estructura y se refiere al peso de los cables conductores y de guarda con sus aisladores, herrajes, accesorios y el peso propio de la estructura.
- b). Carga viva.- Esta carga se debe a la acción del viento sobre los cables y estructura, así como a la acción del hielo. Es una carga variable, en intensidad, con el tiempo.
- c). Carga accidental.- Para el análisis de torres de transmisión se considera como carga accidental la rotura de uno o varios cables, ya sean conductores o hilos de guarda. También las cargas debidas al sismo, así como cargas debidas a fenómenos como el "galopeo". Sin embargo estos dos últimos tipos de carga accidental se estudian más a fondo cuando se realiza un "Análisis Dinámico", pero como este tipo de análisis no es el más común, sus efectos se pueden estudiar por separado y en casos muy específicos para considerarlos o no en el análisis. Usualmente no se considera el efecto producido por estos dos últimos tipos de carga.

En seguida se expone la manera mas común para catalogar las cargas, ya sea en el medio -

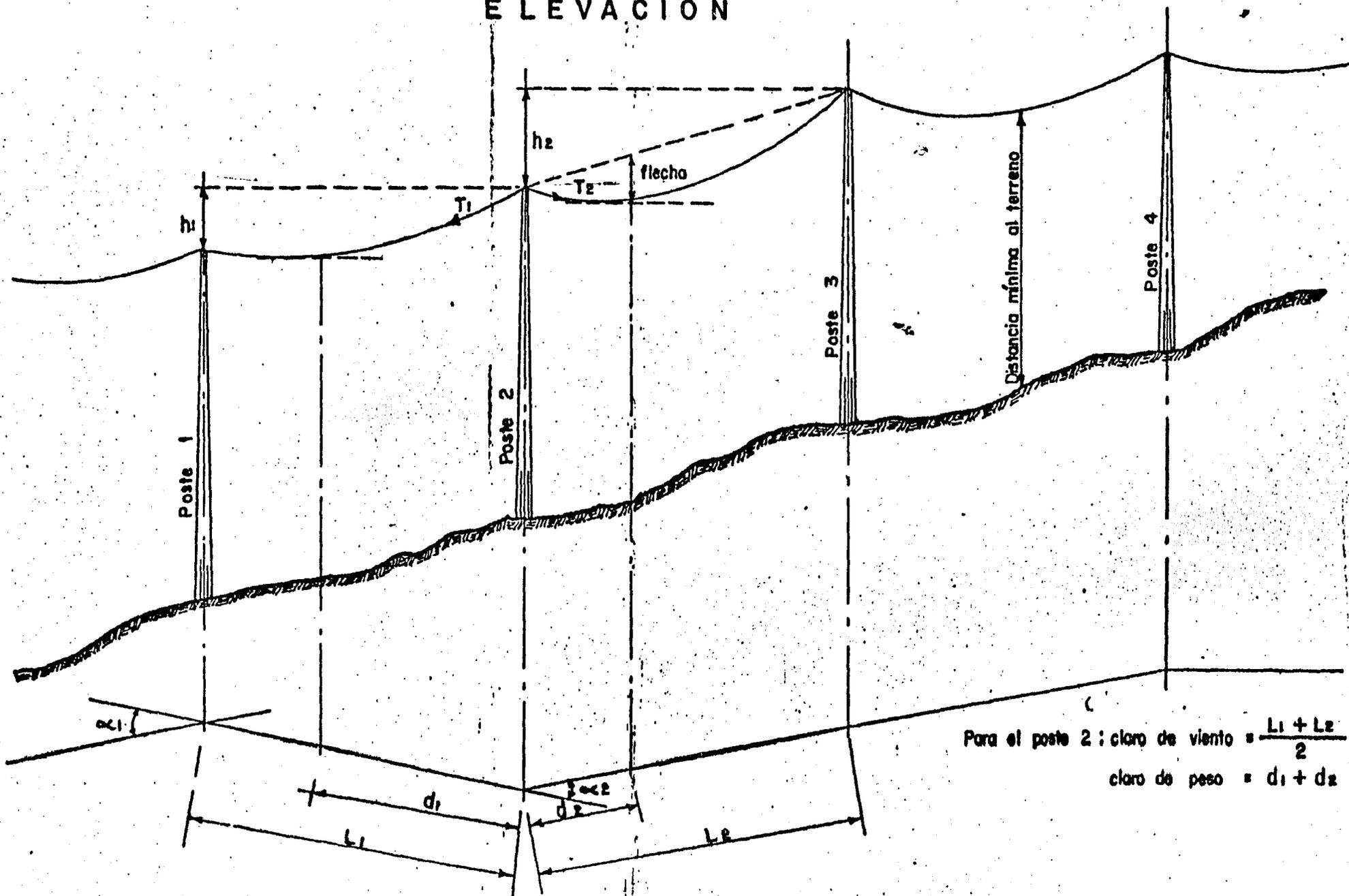
de la línea de transmisión, como en las especificaciones para el diseño de las torres. Así se habla de:

A). Cargas verticales.- Estas se refieren, generalmente a la carga debida al peso de los conductores e hilos de guarda, con sus aisladores, herrajes, accesorios. Además se incluye carga debida a la diferencia de niveles entre torres adyacentes. Para la obtención del peso de los conductores e hilos de guarda que soporta la torre se considera lo que se denomina "CLARO DE PESO" o "CLARO MEDIO VERTICAL", que se define como la longitud del tramo de cable limitada por los puntos más bajos de las catenarias adyacentes a la torre en cuestión. Ver Fig. 2.4.1.

También deben tomarse en cuenta las cargas verticales de montaje o mantenimiento. Estas consideran la posición de una o dos personas, situadas en cualquier parte de la estructura. Comúnmente la parte más crítica para la posición de esta carga es la punta de las crucetas y de los copetes.

Igualmente debería de considerarse la carga vertical inducida por la operación del tensado de los cables (tensado de la línea), carga que no se valúa generalmente, o puede considerarse su efecto dentro, de los factores de seguridad a que se ven sometidas las sollicitaciones.

ELEVACION



Para el poste 2 : claro de viento = $\frac{L_1 + L_2}{2}$
 claro de peso = $d_1 + d_2$

PLANTA

Fig. 2.4.1

Por último se considera la carga vertical generada por el peso del hielo que se puede depositar en los cables.

B). Peso propio de la estructura.- Aunque esta carga podría incluirse en el inciso A precedente, se considera separadamente.

En virtud de que los factores de carga son diferentes para el peso propio y las cargas verticales, no se considera este concepto en el inciso A.

C). Carga transversal.- Es la carga debida a la acción del viento sobre los cables, en su caso, también se toman en cuenta las fuerzas transversales inducidas por la desviación del eje de la línea. Para su cálculo es necesario definir el claro en que se considera que actúa el viento, a éste se le denomina "Claro de Viento" o "Claro Medio Horizontal" y es igual a la semisuma de los claros horizontales adyacentes a la torre en cuestión.

Ver Fig. 2.4.1.

Esta condición generalmente se calcula para dos velocidades de viento; una velocidad media C_1 , que corresponde a la velocidad que actúa continuamente sobre la línea y una velocidad máxima C_2 , que tiene poca probabilidad de ser alcanzada o sobrepasada durante la vida útil de la estructura.

- D). Carga transversal sobre la torre debida a la acción de viento, igualmente se consideran dos velocidades de viento, D_1 velocidad media y D_2 velocidad máxima.
- E). Carga longitudinal sobre la torre debida a la acción del viento máximo.
- F). Carga longitudinal debido a la ruptura de cables. Deberá escogerse la alternativa y posición de cables rotos que provoque el mayor desequilibrio sobre la torre.

Por lo general no se considera la falla simultanea de varias fases o cables de guarda porque esto representaría una situación muy desfavorable para la estructura y no sucede este fenómeno comunmente.

Las cargas longitudinales por lo general son las que más efectos desfavorables producen sobre una torre y muchas de las estructuras que estan en pie fueron diseñadas bajo las acciones de este tipo de cargas. Hoy en día se tiende a disminuir el efecto de las cargas longitudinales debido que la ruptura de cables no es común. Pero hay que considerar las cargas que se inducen por efecto del "tendido" de la línea.

- G). Carga longitudinal sobre las torres debida a tensiones desbalanceadas en los cables. Se considera una carga G_1 para las condiciones normales de servicio y otra carga G_2

para condiciones críticas. Este tipo de carga se considera solamente en torres de atraque y de remate. Para las estructuras de suspensión y deflexión es igual a cero.

2.4.1). Combinaciones de Carga y Factor de Carga.

Una combinación de carga, es aquella superposición de cargas, que se considera, tienen una alta probabilidad de ocurrir simultáneamente.

Es muy común que las cargas para las torres de transmisión sean afectadas por un factor de carga dependiendo del grado de incertidumbre para la obtención de dicha carga.

A continuación se tiene una tabla que involucra las combinaciones de carga y sus respectivos factores de carga. Cabe mencionar que los factores de carga son los proporcionados por la sección C.1.2, del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad.

Estos factores se basan en la repercusión que tendría una falla en la estructura causando pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad.

Combinaciones:

- 1 (A + B) 1.1. + (C1 + D1 + G1) 1.5
- 2 (A + B + C1 + D1 + F) 1.1
- 3 (B + D2) 1.1
- 4 (B + E) 1.1
- 5 (A + B + C2 + D2 + G2) 1.1

En las combinaciones 3 y 4 se incluirá el factor de ráfaga para el cálculo de la carga por viento.

Adicionalmente, si se tiene certeza de la aparición de hielo, se tiene:

- 6 (A1 + B) 1,1 + (C + D + G) 1.5
- 7 (A1 + B + C + D + F) 1.1

En donde la carga A1 se refiere al peso de los cables cuando en ellos se ha acumulado una capa de hielo de 3.5 mm de espesor y se le considera un peso específico de 900 Kg/m³

C A P I T U L O 3

3.) . CONSIDERACIONES PARA LA ESTRUCTURACION DE TORRES DE TRANSMISION.

3.1) . Introducci3n.

La estructuraci3n de una torre de transmisi3n se ve influenciada por diferentes aspectos como:

Tiempo.- Es muy importante tener pleno conocimiento del tiempo que contamos para la estructuraci3n de la torre. En muchas ocasiones nos vemos involucrados en los concursos de l3neas de transmisi3n y tenemos que realizar cinco, diez o quince estructuraciones en un mes. Obviamente no es lo mismo contar con quince d3as, para realizar una estructuraci3n que llevarla a cabo en dos d3as.

Importancia.- Aunque todas las estructuras son importantes, estamos conscientes, de que algunas de ellas son m3s importantes que otras. Ya sea por voltaje, la altura, si se tratase de una estructura de especiales caracter3sticas, desde luego, tendremos que tomarlos con la importancia que se merecen. El estudio de estructuraci3n de una torre de especiales caracter3sticas tendr3 necesariamente que tomar m3s tiempo y dedicaci3n.

El n3mero de estructuras iguales.- Como se ha mencionado, la econom3a de la estructura se ver3 a fin de cuentas en pesos y centavos; por lo mismo, un ahorro grande en un n3mero peque1o de estructuras, tal vez no sea de las mismas dimensiones econ3micamente hablando, que un ahorro peque1o en un n3mero muy grande de estructuras, -

Lugar donde se construirá la línea. A pesar de que este concepto lo ha tenido muy en cuenta el proyectista de la línea, en algunas ocasiones este concepto se verá afectado a la hora de estructuración, un ejemplo sería el tener que construir la torre en una zona no muy accesible, por lo tanto el largo de las piezas deberá ser congruente con el tipo de transporte a utilizar. Si no se prevee esto tal vez se caiga en trabajos innecesarios y en posibles daños a estructuras, que a lo largo acarrearán mal funcionamiento de nuestra torre.

Especificaciones.- Para obtener la estructura deseada, es absolutamente indispensable encuadrar la dentro del marco de especificaciones editadas por el contratante. No obstante podrán ser discutibles siempre y cuando el fundamento sea práctico en supuestas modificaciones a las multicitadas especificaciones dependiendo de las necesidades y recursos con que se cuente.

Fabricación y transporte.- El diseñador deberá de considerar que este tipo de estructuras son repetitivas, por tal razón es muy importante el dar una estructuración lo más sencilla y modular que pueda representar una fabricación en serie económica.

Concepto como el número de placas o de recortes que pueda llevar una estructura, representará tiempo y mucho dinero. Es de notar que para la --

realización de un recorte a 45° de dos o tres centímetros en un montante de 5 ó 6 metros, será necesario la intervención de cuatro o seis obreros y de muchas maniobras; todo esto repercutirá directamente en la economía de nuestra estructura. Es común que sentado en su restirador el estructurista no contemple la dificultad para realizar el doblado en unos cuantos grados a una pieza de 8 ó 10 metros, pero esto acarrea grandes pérdidas en horas/hombre y conducentemente la producción se ve mermada por estos conceptos. Tan antieconómico resulta fabricar muchas piezas chicas como muy grandes. Estos conceptos se verán balanceados en cuanto mejor conozcamos todos los recursos con que se cuente para la realización de la estructura, su dibujo, detalle fabricación, transporte, erección y funcionamiento.

Experiencia y Habilidad del Ingeniero Estructurista.- Es indudable que entre más y mejor sea nuestra experiencia en los diferentes conceptos que se ven involucrados en la estructuración de torres, nuestro resultado será mejor y más rápido. Algunas personas de mucha experiencia en el ramo dicen que, no darían a estructurar una torre a un Ingeniero que no tuviése, cuando menos, cuatro años de experiencia trabajando con las torres de transmisión en el departamento de ingeniería. Este primer paso es de tal relevancia que el error cometido en la estructuración se verá amplificado por cada uno de los procesos que requiere un plano para convertirse en una estructura real, y --

asimismo, repercutirá en el costo final del elemento estructurado.

3.2). Especificaciones.

A pesar de que este trabajo trata sobre análisis y diseño de torres de transmisión, se ha sentido la necesidad de incluir, a manera de panorámica, lo concerniente a especificaciones en cuanto a proyecto se refiere.

Para hablar someramente de las especificaciones y para fines de este trabajo separémoslos en dos puntos:

- a). Especificaciones para líneas de transmisión (Proyecto).
- b). Especificaciones para torres de transmisión (análisis y diseño).

- a). El Manual de Obras Civiles de C.F.E., en la sección de estructuras para transmisión de Energía Eléctrica nos recomienda acatar los lineamientos siguientes en cuanto a:

1.- Dimensiones Dieléctrico.

La configuración geométrica general de las estructuras de soporte deberá ser tal que el aislamiento de la línea de transmisión se conserve en cualquier condición de operación incluyendo las sobretensiones provocadas por factores externos o internos y considerando la influencia del medio ambiente en cuanto a presión barométrica, humedad, temperatura, contaminación, etc.

- 1.1. Distancias mínimas
- 1.2. Correcciones por condiciones climáticas
- 1.3. Correcciones por contaminación atmosférica
- 1.4. Requisitos adicionales de aislamiento en las estructuras de soporte.
 - 1.4.1. Distancias de conductores al terreno.
 - 1.4.2 Separaciones entre conductores y la estructura de soporte.
 - 1.4.3 Angulo de protección.
- 2.- Condiciones especiales para cruzamientos y paralelismo en líneas de transmisión.

Para líneas de transmisión que operan con tensiones de 69 KV y mayores se deben adoptar disposiciones especiales de seguridad para los casos de paralelismo y cruzamientos con calles, carreteras, vías férreas, ríos, canales navegables y otras líneas eléctricas o de comunicación.

- 2.1. Cruzamientos con calles, carreteras o autopistas.
- 2.2. Cruzamiento con vías férreas no electrificadas.
- 2.3. Cruzamiento con ferrocarril eléctrico o tranvía.
- 2.4. Cruzamiento con ríos o canales navegables.
- 2.5. Cruzamiento entre líneas de transmisión.
- 2.6. Paralelismo entre líneas eléctricas o con líneas de telecomunicaciones.
- 2.7 Derecho de vía.

- 2.8. Localización de la línea respecto a vías de comunicación.
- 2.9. Localización de la línea respecto a zonas arboladas.
- 2.10. Localización de las líneas respecto a construcciones y edificios en zonas urbanas.

En casi todos los incisos anteriormente expuestos se incluye una serie de fórmulas o requisitos mínimos y máximos a cumplir.

Podemos incluir dentro de este mismo inciso (a), lo referente a el cálculo de las flechas máximas permisibles ya que el proyectista, en el momento de definir la "plantilla" de localización de estructuras y sus niveles, tendrá en cuenta este concepto.

b). Las especificaciones para torres de transmisión desde el punto de vista del análisis y diseño, igualmente, el Manual de Obras Civiles de C.F.E., recomienda el acatamiento de los siguientes lineamientos.

1.- Localización de las estructuras sobre el eje de la línea de transmisión.

La localización de las estructuras de soporte sobre el perfil topográfico de la ruta de una línea de transmisión tiene como objetivo: a). Mantener las distancias mínimas de conductor al terreno para las diversas condiciones de servicio de la línea:

b). Determinar las cargas actuantes sobre

cada estructura; c) seleccionar el tipo de estructura mas adecuado en cada caso para estar en condiciones de comparar costos entre diferentes alternativas y llegar a la solución más apropiada. La localización puede llevarse a cabo en forma gráfica mediante plantillas o haciendo uso de programas de computadora.

1.1.- Claros de Diseño

Para determinar las cargas que transmiten los cables a la estructura y que provocan desplazamiento angular de las cadenas de aisladores se consideran dos claros de diseño:

Claro de viento y claro de peso.

Claro de viento.- Se utiliza para calcular las fuerzas horizontales transversales en cada estructura debidas al viento actuando sobre los cables; corresponde a la semisuma de los claros adyacentes a una estructura de soporte.

Claro de Peso.- Se emplea para determinar las cargas verticales que imponen los cables a una estructura; corresponde a la suma de las distancias de la estructura de soporte a los puntos más bajos de las catenarias de los cables adyacentes a la misma.

2.- Flechas y Tensiones Mecánicas de los cables.

2.1). Las condiciones para las que se calculan las flechas y tensiones mecánicas en cables serán, las siguientes: (siempre incluir peso propio).

- a). La temperatura ambiente mínima anual sin presión de viento, para revisar libramiento vertical en cruces con otras líneas.
- b). La temperatura ambiente mínima anual con presión de viento medio, para revisar tensiones en los cables para la condición más desfavorable.
- c). La temperatura ambiente media anual con presión de viento medio, para revisar tensiones en los cables para la condición normal de servicio.
- d). La temperatura ambiente máxima anual sin presión de viento, para revisar libramientos - respecto al terreno.

Para los cuatro incisos anteriores se presentan las expresiones para el cálculo de flechas y tensiones, para las presiones debidas a viento y los mapas de temperatura de la República Mexicana.

2.2. Tensiones Mecánicas Permisibles.

- a). En cables de Guarda.- Se deberá revisar que la tensión para la condición normal de trabajo y para la condición de carga mas desfavorable no sobrepase el 25% ni el 50% de la carga de ruptura del cable, respectivamente.
- b). En Cables Conductores.- La tensión mecánica en los conductores no sobrepasará el 33% de su carga de ruptura para la condición de tendido inicial de la línea (construcción), ni el 25% para la condición normal de trabajo, ni el 50% para la condición de carga más desfavorable.

3.) Condiciones de carga, combinaciones y factores de carga.

Las condiciones de carga que se recomienda emplear para el diseño de las estructuras de soporte se han enunciado prácticamente en el capítulo 2 inciso 4 "Solicitaciones".

4.) Diseño de Miembros. Revisión de su Resistencia.

En adición a los elementos mecánicos resultantes del análisis de las combinaciones de carga, todos los miembros del cuerpo de la torre, serán de sección suficiente para soportar una carga vertical máxima de 100 Kg. concentrada en cualquier punto sin sufrir deformación permanente; asimismo, para el diseño de cruceta se deberá considerar una carga vertical de 250 Kg concentrada en la posición más desfavorable.

Para el soporte del cable de guarda dicha carga será de 120 Kg.

5.) Características de los miembros Estructurales.

Se consideran miembros principales, a aquellos que definen el contorno de la torre y su cimentación; tanto los miembros principales como los secundarios se diseñan para resistir las fuerzas obtenidas del análisis. Los miembros redundantes son aquellos - cuya función es limitar la relación de esbeltez de otros miembros en la estructura.

5.1). Dimensiones mínimas.

Los patines de las secciones en los miembros principales del cuerpo de la torre y de la cruceta, tendrán una dimensión no menor de 38 milímetros ($1\frac{1}{2}$ ") y espesor mínimo de 4.7 milímetros ($3/16$ "), al igual que todos aquellos miembros que formen parte de las cimentaciones.

En miembros secundarios el espesor mínimo será de 4.0 mm ($5/32$ "); mientras que en los miembros redundantes el espesor no será menor de 3.2 mm ($1/8$ "). Las placas que se empleen para conexiones no tendrán un espesor menor de 4.7 mm ($3/16$ ").

En torres con retenidas, los cables que servirán de anclaje no deberán ser de diámetro menor que 6.4 mm ($1/4$ ").

5.2). Esbeltez.

La relación de esbeltez de los miembros que componen una torre, no sobrepasará los valores siguientes.

Para miembros principales del cuerpo de la torre y cruceta, que trabajen a compresión la relación de esbeltez máxima (KL/r), será igual a 150.

Para miembros secundarios KL/r máxima igual a 200.

Para miembros superfluos o redundantes KL/r máxima igual a 250.

Para miembros a tensión, excepto cables para retenidas KL/r máxima igual a 400.

6.) . Detallado de la estructura.

Se presentan en seguida algunas recomendaciones usuales para torres de transmisión que se dan en diversas especificaciones.

6.1) . Conexiones.

Todos los miembros de las torres se unirán por medio de tornillos, utilizando cuando menos dos de estos en cada conexión entre miembros principales, además, ningún tornillo deberá unir a más de tres miembros, principales o secundarios.

Las conexiones deberán detallarse a modo de reducir a un mínimo la excentricidad, no obstante si por alguna razón se introduce un momento flexionante de importancia en un miembro, éste se diseñará a flexocompresión empleando las fórmulas correspondientes.

El lado más pequeño de los miembros que podrá conectarse con un tornillo de diámetro dado, estará de acuerdo a la tabla siguiente:

DIAMETRO ϕ DEL TORNILLO (mm)	LADO MINIMO (mm)
13	30
16	38
19	45
22	50
más de 22	2.3 ϕ

6.2). Empalmes.

La resistencia de los empalmes no será menor que la de los miembros que une; además, el lomo de los ángulos anteriores deberá redondearse para que asiente en el interior del elemento que sirva de unión.

6.3). Tornillería.

El diámetro mínimo de tornillos será de 16 mm ($5/8''$); excepto para miembros sujetos a esfuerzos muy bajos donde podrán emplearse tornillos de 13 mm ($1/2''$).

La longitud del tornillo que sobresale de las tuercas, una vez que estas han sido firmemente apretadas, no será menor de 6.4 mm ($1/4''$) ni mayor de 10 mm ($3/8''$).

Para simplificar el ensamble de la estructura y tener un fácil control de la tornillería, es conveniente no usar más de dos diámetros diferentes de tornillos y cuatro longitudes distintas, estas características deberán en lo posible de estandarizarse.

Se usarán roldanas de presión con espesor mínimo de 1.6 mm ($1/16''$); además se deberán emplear contratueras (PALNUTS) para prevenir el aflojamiento de las conexiones en la unión entre miembros principales, o en conexiones donde se requiera una unión firme para posibles problemas por la transmisión de vibraciones de los cables o de la estructura.

6.4). Agujeros.

Los agujeros para los tornillos serán localizados tan cerca del gramil del miembro como sea posible y tendrán un diámetro no mayor de 1.6 mm ($1/16$ ") que el diámetro nominal del tornillo.

La distancia mínima entre centros de agujeros y del centro de un agujero a la orilla estandarizadas en la tabla siguiente:

DIAMETRO ϕ DEL TORNILLO mm.	ENTRE CENTROS DE AGUJEROS	A UN CANTO RECORTADO	A UN CANTO LAMINADO
13	30	17	15
16	37	22	18
19	43	25	22
22	49	30	25
más de 22	$2.3 \times \phi$	$1.35 \times \phi$	$1.15 \times \phi$

Si el canto fue cortado mediante soplete, se tomará la distancia correspondiente a un canto recortado incrementado en diez por ciento.

Además de los agujeros que la estructura requiere para su armado y para sujetar los herrajes y accesorios, se requieren los siguientes agujeros especiales:

- Para sujetar los avisos de peligro.
- Para la conexión a tierra, agujero de 10 mm ($3/8$ ").
- Para la conexión del cable de guarda a la torre.

La localización de estos agujeros deberá indicarse en los planos de construcción.

6.5). Escalones.

Sobre una de las aristas del cuerpo de la estructura deben colocarse tornillos que sirvan como escalera y que tengan una longitud útil para apoyo de 150 mm; deberán ser capaces de soportar al menos una carga de 125 Kg estar provistos de un tope en su extremo para evitar resbalones o deslizamientos y en el extremo opuesto deberán contar con rosca, tuerca y contra tuerca. Estos tornillos (escalones) estarán espaciados aproximadamente 40 cm y colocados en forma alternada en los lados del ángulo a partir de una altura de dos metros, sobre el nivel del terreno, hasta la parte más alta de la estructura.

Algunos escalones podrán eliminarse cuando la celosía de la estructura este dispuesta, en tal forma, que no presente la menor dificultad para desplazarse sobre la torre en forma segura.

6.6). Galvanizado.

Todos los elementos metálicos que conforman la estructura, incluyendo la tornillería y en su caso los cimientos de parrilla de acero, deberán ser galvanizados, empleando el método de inmersión en caliente (HOT DIP), según normas ASTM-A123 y ASTM-A239, una vez que hayan sido cortados y taladrados.

6.7). Marcas.

Todas las piezas deberán presentarse con una

marca que las identifique plenamente. Esta se aplicará de golpe. La marca deberá quedar en un extremo de la pieza y fuera de cualquier grupo de barrenos. Será como mínimo de 12.5 mm de altura.

6.8). Enderezado.

El material antes de "embarcarse" deberá enderezarse para corregir defectos resultantes de las operaciones de punzonado, marcado, etc.

6.9). Soldadura.

Generalmente no deben aceptarse piezas unidas por soldadura. Cuando por alguna razón se requieran piezas unidas o formadas por elementos soldados, esta soldadura deberá aplicarse siguiendo las normas específicas para cada caso. Todo el contorno de la unión deberá rellenarse a fin de evitar problemas en el galvanizado o su penetración.

7.). Cimentaciones

Las cimentaciones pueden ser de acero o de concreto.

Los diferentes tipos de cimentaciones que se diseñan deberán ser de tal forma que puedan intercambiarse fácilmente, de acuerdo a los distintos tipos de terreno en los que se localicen las estructuras, sin que se requiera, en lo posible ningún aditamento especial.

Las acciones de diseño para las cimentaciones se obtendrán aplicando un factor de carga (F.S.) de 10% mayor que el correspondiente a la estructura para cada una de las combinaciones de carga.

Para el cálculo de la resistencia al arrancamiento que tendrá la cimentación, se tomará en cuenta el peso propio de ésta y el del suelo que se encuentre sobre ella contenido dentro de una pirámide truncada invertida cuyas caras tienen una inclinación de 20°, 25° ó 30° respecto a la vertical. Esto es válido para cimentación. Se considera que una cimentación es superficial cuando la relación profundidad de desplante a ancho menor de la base de la misma sea menor de seis.

Para el cálculo anterior se supondrá que el suelo tiene un peso específico de 1.6 Ton/m³ y el concreto 2.4 Ton/m³.

Por otra parte, la presión de contacto para la cual se deberán diseñar los cimientos formados por parrillas de acero, no excederá de 2.0 Kg/cm² en terreno firme; se diseñarán cimientos de concreto para este mismo tipo de terreno y también para terreno blando cuya resistencia a la compresión se aproxime a 0.5 Kg/cm².

Todas las cimentaciones de concreto reforzado deberán sobresalir aproximadamente 40 cm del -

nivel del terreno y se diseñarán a base de zapatas cuadradas suponiendo para el concreto - una resistencia a la compresión no menor de - 150 Kg/cm².

8.) Verificación de la resistencia de las estructuras soporte.

Debe fabricarse, con propósito de verificación de resistencia, una torre de cada tipo a escala natural. Puede omitirse la prueba a estructuras de configuración similar a una ya probada.

La estructura de prueba coincidirá en todo a lo indicado en los planos aprobados.

El ensamble y erección de la torre por ensayar deberá realizarse con las mismas técnicas que en el campo. Se verificará que todos los miembros ensamblen perfectamente unos con otros, asimismo, la aplicación correcta de los estados de carga preestablecidos.

Debe asegurarse que se transmita completamente la carga a la estructura, tomando en consideración las pérdidas que puedan ser inducidas por el sistema de aplicación de carga.

Las cargas producidas por conductores y cables de guarda deberán aplicarse por medio de accesorios diseñados para conectar las cadenas de aisladores y cables de guarda.

Antes de iniciar la prueba de un prototipo, se calibrarán los aparatos de medición por utilizar en dicha prueba y las curvas de calibración correspondientes estarán disponibles durante el ensaye.

Para estimar la capacidad de carga de la estructura, esta se aplicará al 100% de la combinación de carga multiplicada por su factor de carga (carga de diseño).

La estructura se armará sobre una cimentación rígida y se llevará a la carga de diseño cuando menos en cinco intervalos de carga, midiendo las deflexiones en sentido transversal y longitudinal en los puntos de sujeción de los cables y cuando menos en dos puntos sobre la altura de la estructura, tanto en dirección longitudinal como transversal.

Deberán ensayarse sobre una misma estructura todas las combinaciones de carga.

El tiempo mínimo de aplicación de la intensidad máxima de las combinaciones de carga, no será menor de 10 min.

La estructura se considerará no apta cuando:

- No soporte la aplicación de carga máxima en el tiempo especificado.
- Falle alguno de sus elementos componentes.
- No recupere el 75% de la deformación máxima en un lapso de una hora después del ensaye.

- Se presente alguna deformación permanente notable en un miembro cualquiera, excepto cuando después de completar con éxito el programa de pruebas se note deformación de los agujeros para tornillos; entonces se podrá modificar el detalle correspondiente sin necesidad de realizar nuevos ensayos.

Finalmente, la estructura será llevada a la falla aplicando la combinación de carga que hubiese producido la máxima deformación.

Se aceptará el diseño de la estructura si la carga de colapso es cuando menos 10% mayor que la de diseño.

- b). Igualmente, El Manual de Obras Civiles de C. F.E., dentro del tema de Métodos de Análisis y Diseño en su tomo III de Ayudas de Diseño nos define algunos parámetros a seguir para analizar y diseñar estructuras como subestaciones y torres de líneas de transmisión. Un aspecto fundamental es la determinación del viento que actuará en la estructura.

Aunque generalmente para concursos internacionales la obtención de los "árboles de carga" esta casi resuelto, en nuestro país se procede al cálculo de las presiones de viento a partir de las velocidades regionales existentes en los lugares por donde pasará la línea de transmisión. Por lo tanto se expone la determinación de la presión de viento a partir de la velocidad regional.

Velocidad Regional.

Para efecto del diseño estructural de líneas de transmisión se ha constituido la regionalización eólica de la República Mexicana, en tres zonas (ver Fig. 3.1), cuyas velocidades regionales medias y máximas son:

	VELOCIDAD REGIONAL V_R (km/hr).	
	MEDIA	MAXIMA
A (ALTA)	125	180
B (MEDIA)	100	135
C (ALTA)	70	100

En lugares donde se tengan registros confiables que indiquen que se rebasan las velocidades regionales, a juicio del diseñador se empleará una velocidad mayor como velocidad regional.

Velocidad Básica V_B

La velocidad regional se deberá modificar para tomar en cuenta la topografía local de la ruta que siga el tendido de la línea. Esto se logra multiplicando la velocidad regional por los factores que se indican a continuación.

$$V_B = V_R K_t$$

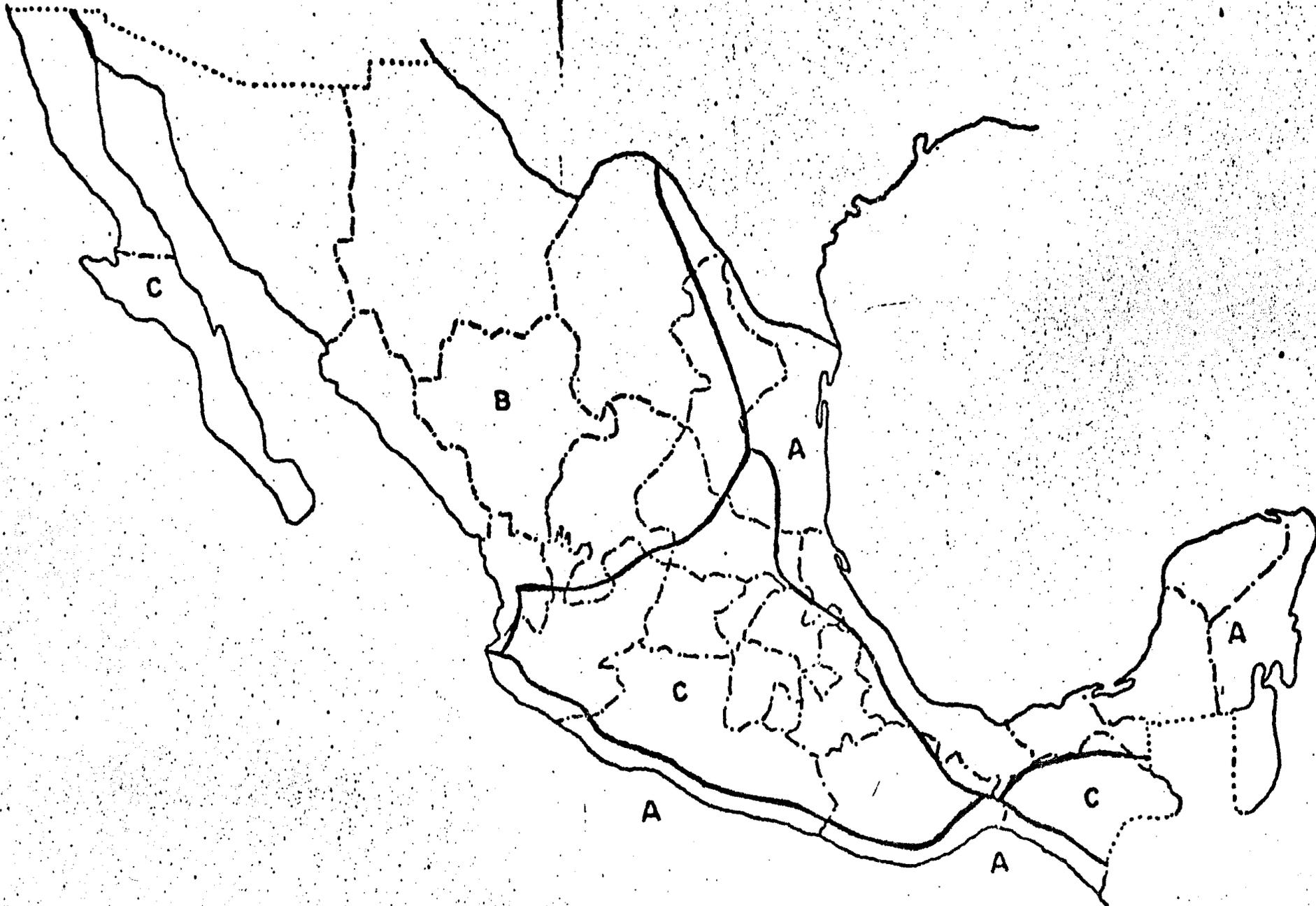
donde:

V_B = Velocidad Básica

V_R = Velocidad Regional

K_t = Factor de corrección por topografía.

Y a su vez:



3.1
FIG Regionalización eólica de la República Mexicana

Factor K_t Tipo de Topografía

0.7 Muy accidentada (bosques donde la altura de los árboles sea mayor que la de las torres; centro de ciudades, etc.).

0.8 Zonas, arboladas donde la altura de los árboles sea menor que la de las torres, pero mayor de 10 mts.

1.0 Campo abierto.

1.2 Promontorios al descubierto.

Variación con la altura.

La velocidad básica aumenta con la altura sobre el terreno, según la siguiente formula:

$$V_z = V_B K_1$$

donde:

V_z = Velocidad a una altura Z 10m.

$$K_1 = (Z/10)^\alpha$$

α = Coeficiente que depende de la topografía local.

Y a su vez:

- α Tipo de terreno
- 0.14 Litoral o campo abierto interior.
- 0.22 Zonas urbanas.
- 0.33 Centro de grandes ciudades.

Una forma aproximada, para establecer el perfil de velocidades con la altura es aplicando el valor K_1 ; según la tabla siguiente.

VALORES DE K_1

Altura de la Torre, H, el m.	Zonas Urbanas	Otras Zonas
H < 10	1.00	1.00
10 < H < 20	1.20	1.10
20 < H < 30	1.36	1.15
30 < H < 40	1.47	1.20
40 < H < 50	1.57	1.25
50 < H < 60	1.61	1.29

Velocidad de diseño

Finalmente, para establecer la velocidad de diseño es necesario multiplicar la velocidad V_Z por un factor de ráfaga.

$$V_D = F_R \times V_Z$$

donde:

V_D = Velocidad de diseño correspondiente a la altura de los conductores sobre el terreno, medida al pie de la torre.

F_R = Factor de ráfaga que vale 1.3 para las combinaciones 3 y 4, (presentadas anteriormente), o cuando la altura de la torre exceda de 60 m. Para otras combinaciones de carga y para cables se tomará igual a 1.0.

Presión sobre la Estructura y los Cables.

Una vez determinada la velocidad de diseño, la

presión de viento se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = 0.0048 G C V_D^2$$

donde:

P = Presión de viento sobre el área expuesta en Kg/m²

G = Factor correctivo por altitud; se calcula aproximadamente con la expresión $G = (8 + h)/(8 + 2h)$, siendo h la altura en km, sobre el nivel del mar de la zona donde se construya la línea.

C = Coeficiente de arrastre, adimensional

El coeficiente de arrastre, C, se tomará como 1.8 para la primera cara de la torre, referida al área expuesta; en el plano que le sigue se permite reducir el valor 1.5 X, donde X es la relación entre separación y peralte de los planos (para $X \leq 1.2$). Para los cables conductores, de guarda y de retenidas $C = 1.2$.

Cálculo de la Resistencia de los Elementos Estructurales.

Otro aspecto fundamental para el diseño de los elementos estructurales es el conocimiento de las fórmulas de diseño a utilizar. Por lo pronto se muestran las fórmulas que contempla El Manual de Obras Civiles de C.F.E.

Relación Ancho/Espesor de Angulos.

Para efectos de cálculo de la relación ancho/

espesor (b/t) de perfiles estructurales en ángulo, laminados o de placa doblada, se considera como ancho efectivo a la distancia entre el borde del ángulo y el punto donde se inicia la curvatura.

Por lo tanto:

$$b = B - r - t.$$

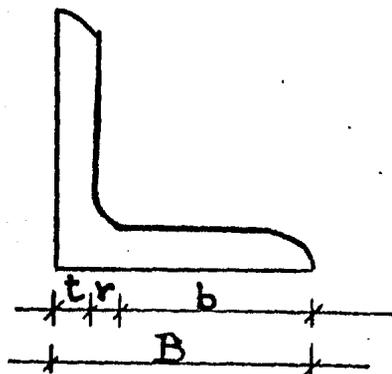
donde:

b = Ancho efectivo

B = Ancho nominal

r = Radio de curvatura.

t = Espesor.



Dimensión para calcular b/t

Los ángulos principales de la torre deberán tener una relación ancho-espesor no mayor de -

$640 / \sqrt{f_y}$; si no se cumple esta limitación, -
la resistencia calculada se afectará por un factor Q_s , calculado como a continuación se muestra -
tra:

Si:

$$b/t < 640 / \sqrt{f_y} \quad Q_s = 1.0$$

$$640 / \sqrt{f_y} < b/t < 1300 / \sqrt{f_y} \quad Q_s = 1.34 - 0.00052(b/t) \sqrt{f_y}$$

$$1300 / \sqrt{f_y} \leq b/t \quad Q_s = 1,090,000 / (f_y (b/t)^2)$$

Cálculo de Resistencia.**Tensión Axial.**

La resistencia a tensión axial se calculará con la siguiente expresión.

$$R_T = A f_y F_R .$$

donde:

R_T = Resistencia a tensión, en Kg.

A = Area neta del miembro, en cm^2 .

f_y = Esfuerzo de fluencia, en Kg/cm^2

F_R = 0.9.

Compresión Axial.

La resistencia a compresión estará dada por las siguientes expresiones.

Si: $\frac{KL}{r} \gg C_c$ Rango elástico.

$$R_C = F_R \frac{20,134,000}{(KL/r)^2} A$$

Si: $\frac{KL}{r} < C_c$ Rango inelástico.

$$R_C = F_R \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2 C_c^2} \right] f_y A Q_s$$

donde:

R_C = Resistencia a compresión, en Kg.

A = Area de la sección transversal, en cm^2 .

K = Factor de corrección para longitud efectiva de pandeo.

L = Longitud de la pieza cm.

r = Radio de giro de la sección en cm.

$$C_c = 6340 / \sqrt{Q_s f_y}$$

F_R = Factor de resistencia que vale 0.85 para $KL/r = 0$, y decrece linealmente hasta 0.75 para $KL/r = C_c$ y conserva este valor para relaciones de esbeltez mayores que C_c .

Q_s = Factor de reducción según relación ancho-espesor.

Flexión.

El momento flexionante crítico de los ángulos que forman la estructura, se calculará con la siguiente expresión.

$$M = \frac{E A t}{L/r_z} F_R < S f_y$$

donde:

M = Momento flexionante, en kg-cm

E = Módulo de elasticidad (2×10^6 Kg/cm²).

A = Area de la sección, en cm².

t = Espesor del patín, en cm.

r_z = Radio de giro mínimo, en cm.

F_R = 0.85

S = Módulo de sección.

Flexocompresión.

El momento resistente de diseño en flexocompresión, es igual al menor valor calculado con las siguientes expresiones:

$$M_R = \left[1 - \frac{P_u}{P_R} \right] M_x$$

$$M_R = \left[1 - \frac{P_u}{P_{cr}} \right] \left[1 - \frac{P_u}{R_c} \right] M_x$$

donde:

M_R = Momento resistente en flexocompresión en Kg-cm.

P_u = Carga axial actuante, en Kg.

P_R = Carga axial resistente = $F_R A f_y$; $F_R = 0.85$

M_x = Momento flexionante actuante, en Kg-cm.

R_c = Resistencia a compresión axial, kg.

$P_{cr} = F_R \pi^2 EI_x / (KL/r)_x^2$; $F_R = 0.85$

I_x = Momento de inercia alrededor del eje a flexión.

Cortante.

La resistencia a cortante será:

$$V_R = 0.55 f_y d t F_R.$$

donde:

V_R = Fuerza cortante resistente, kg.

d = Peralte, en cm.

t = Espesor del alma, cm.

$F_R = 0.9$

Tornillos.

Como base para los cálculos se tomará el - diámetro nominal del tornillo.

La resistencia a tensión y cortante de los tornillos será la mínima garantizada por el fabricante multiplicada por un factor - de resistencia $F_R = 0.9$. El área resistente efectiva al aplastamiento de los tornillos

se calculará multiplicando su diámetro por el grueso de la placa en que se coloque.

La fuerza de aplastamiento entre los tornillos y la pieza en la que se conecta no será mayor que:

$$2.25 F_R f_y d t$$

donde:

$$F_R = 0.9$$

$$f_y = \text{Esfuerzo de fluencia.}$$

$$d = \text{Diámetro nominal del tornillo.}$$

$$t = \text{Espesor de la parte conectada.}$$

Todo esto es concerniente a las especificaciones correspondientes a los diseños requeridos por CFE. Cuando no es así y se requieren diseños para el extranjero y estos son otorgados mediante concursos, las especificaciones más usuales son las del American Institute of Steel Construction (AISC) y las recomendaciones del "Guide of Design of Steel Transmission Towers" del American Society of Civil Engineers (ASCE).

Esta última para la determinación de las fórmulas para esfuerzos de ángulos se basa en un estudio del Column Research Council (C.R.C.), quien ha estudiado a fondo la sección en ángulo y su comportamiento formando parte de una estructura.

3.3. GENERALIDADES.

Se ha querido ampliar lo referente a la estructuración ya basada en un previo conocimiento de las especificaciones, ya que muchas veces, si no se

toman en cuenta estas, podría cambiarse completamente una estructuración.

Conocidas las limitaciones, mínimas y máximas, ya sea de distancias eléctricas, así como de, alturas, cuerpos y extensiones, apoyados en los "árboles de cargas" a los que estará sujeta dicha torre, se puede comenzar con los "tanteos" de la estructuración.

Se parte siempre con la idea de tener el mayor número posible de piezas iguales, evitar el tener muchas placas, recortes, etc., que impidan una ágil fabricación.

Todas las conjunciones de ángulos (puntas) tendrán como mínimo 15° . Ya que se ha visto que cuando este ángulo es menor de 15° el arriostamiento no funciona tal como se supone que debiera trabajar.

Es absolutamente necesario, que la estructuración de la torre más alta, que generalmente es la primera en resolver, contemple la estructuración de los demás cuerpos, con el mínimo de cambios, para la definición de los cuerpos más pequeños, ya sea a base de módulos.

Es muchas veces petición de especificaciones el tener que diseñar un juego, único, de extensiones que sirvan indistintamente para todos los cuerpos de la torre. Por lo tanto el ancho mínimo de cuerpo más pequeño en su parte inferior, es por lo menos igual a dos veces el ancho de las extensiones.

Cuidando que el ángulo de la punta a tierra, de la extensión sea cuando menos de 15° .

Mediante cálculos estáticos se definen: el ancho y altura de trabe y de cruceta, la colocación de los copetes, en función de las distancias eléctricas y del ángulo de la punta (15°), que posteriormente se podrán modificar las medidas obtenidas en los cálculos, atendiendo a la "estética".

Así se puede modificar, el ancho de cintura y la separación de las patas. Esta última cota (separación de las patas), se puede definir si tenemos en cuenta que el tamaño del perfil de la pata estará en función inversa de la separación, pero habrá aumento en la longitud de la celosía y por lo tanto de peso, que está en función directa a dicha separación.

La intersección de las pendientes de las patas, se procura que se sitúe, más o menos, en la trabe.

Así, ya teniendo definidos la altura, ancho de trabe, crucetas, copetes y alturas de cuerpos que llevará la torre, lo único que resta es "forrarla". La definición del tipo de celosía, quedará establecido por el tipo de torre. Para torre de suspensión se puede utilizar una celosía "de tensión", es decir una configuración de "X" muy alta, o con celosía a base de "X" a 45° , de ser posible, y permitiendo la modulación para los demás cuerpos y cerramientos.

Sin olvidar el factor tiempo, se puede pensar en colocar celosía tipo italiana (doble x) cuando el perfil de la pata, del que previamente se ha realizado una cuantificación, sea muy grande y necesitemos un arriostramiento más cerrado o alternado.

Cuando tenemos limitaciones de carga de celosía, se puede pensar en una solución a base de "Kas" o de rombos. Esta misma se usa en torres de remate que son muy anchas en la base.

Es necesario dejar abierta la posibilidad de incluir redundantes que son piezas usadas para disminuir la longitud de pandeo.

Ya definida esta estructuración es necesaria la realización de un plano de "cuerpo básico" referido a la torre más alta. Este plano debe cumplir con todos los requerimientos eléctricos, de alturas, en general de todas las especificaciones, para poder proseguir con el análisis de la estructura.

C A P I T U L O 4

ANALISIS ESTRUCTURAL DE TORRES DE TRANSMISION.

4.1). Introducción.

El análisis estructural consiste en estimar los efectos que las solicitaciones producen en una estructura. Estos efectos son los esfuerzos internos y los desplazamientos.

El análisis estructural se realiza idealizando la estructura mediante un modelo matemático.

La exactitud de dicho análisis, en relación con lo que sucede realmente, depende, por lo tanto, del modelo utilizado. Teóricamente, entre menos simplificaciones tenga el modelo, más cercanos serán los resultados a los valores reales. Sin embargo, no siempre es posible analizar una estructura a través de un modelo con un alto grado de discretización, esto depende básicamente de la capacidad y costo de las herramientas de cálculo que se utilicen.

Las torres de transmisión están formadas por elementos cuya sección transversal es pequeña en relación a su longitud. Estos se intersectan en juntas o nodos que tienen dimensión y rigidez despreciables, debido a lo cual se pueden tomar como puntos. En este tipo de estructuras, la idealización más general o amplia es considerar un modelo tridimensional, constituido por barras

que trabajan a flexión y, por ello están sujetas a momento flexionante, fuerza cortante y fuerza normal, cuyos puntos de intersección o nudos tienen seis grados de libertad: un desplazamiento y un giro en la dirección y alrededor, respectivamente, de cada uno de los tres ejes que determinan el espacio tridimensional.

Dependiendo de las características de la estructura, se pueden hacer simplificaciones a la idea lización anterior, lográndose a un costo menor, resultados equivalentes a los obtenidos con el modelo más general. En estructuras en las que - la flexión en las barras es despreciable, como - las que forman armaduras, se puede considerar só lo la rigidez axial de las barras y tres grados de libertad por nudo (los desplazamientos en tres direcciones ortogonales), con lo cual se reduce el número de incógnitas y el tiempo necesario pa ra resolver la estructura resulta bastante menor.

Hasta hace pocos años, antes del desarrollo de las computadoras, las torres de transmisión se - analizaban manualmente dividiendo a la estructura en varias armaduras planas isostáticas para lo cual era necesario la eliminación de algunos miembros.

Igualmente se recurría a los métodos gráficos, - todos métodos estáticos.

Con el advenimiento de las computadoras digitales

hubo cierto progreso. Por un lado los diseñadores de torres automatizaron los métodos tradicionales lo que permitía mayor rapidez y seguridad, y por otro lado aparecieron los programas de análisis estructural.

Hoy en día se pueden realizar análisis dinámicos simulando la ruptura de un cable o el comportamiento de la estructura ante un sismo y así conocer los efectos que a determinada estructura y a sus contiguas, producen dichas causas. Pero los análisis dinámicos además de ser costosos resultan imprácticos ya que el efecto que produce el viento es más importante que el producido por el sismo y como ya hemos mencionado la tendencia a considerar la ruptura de un cable esta disminuyendo.

4.2). Análisis Convencional.

Por definirlo de alguna manera se ha llamado análisis convencional al análisis que no es ejecutado mediante un programa específico de computadora. Es decir, al análisis manual (estático) o automatizado mediante calculadora programable o microcomputadora.

El método convencional de análisis, es por superposición de causas y efectos analizado en el plano.

Igualmente dentro del concepto de análisis convencional podemos incluir los métodos gráficos.

4.3). Análisis por Computadora.

Existen, hoy en día, muchos programas de computadora públicos y privados para resolver estructuras y en particular torres de transmisión. Existen programas que obtienen resultados directamente o mediante ciclos iterativos.

Casi todos estos programas de análisis utilizan el método de las rigideces o deformaciones.

Generalmente el procedimiento de solución requiere de la especificación de los miembros y sus propiedades y tiene como incógnitas los desplazamientos de los nudos.

El número de incógnitas de cada nudo es constante y depende del tipo de estructura especificado.

La manera de numerar los nudos y las barras tiene gran importancia en el tiempo que la máquina tomará para solucionar un problema.

Los resultados pueden ser para nudos y elementos. Para nudos tenemos los desplazamientos, reacciones y cargas. Para miembros se pueden obtener fuerzas o esfuerzos y torsiones.

Igualmente se pueden combinar las cargas y obtener fuerzas y desplazamientos máximos, para una o varias combinaciones de carga.

C A P I T U L O 5

CONDICIONES PARA EL DISEÑO DE TORRES DE TRANSMISION.

5.1). Introducción.

Se comentó en el capítulo anterior el uso de la importante herramienta con que cuenta el ingeniero estructurista como lo es la computadora, que además de analizar puede diseñar si para - ello está programada.

Sin obstar tal posibilidad, es conveniente realizar esta parte del trabajo en forma manual to da vez que los elementos de una estructura a ba se de ángulos deberán diseñarse para soportar excentricidades y pandeo, solicitudes que - bien manejadas conducen a una buena estabilidad de la pieza.

Muchas de las soluciones estructurales dadas por el Ingeniero se verán modificadas al momento de ir solucionando uniones al detalle.

Generalmente las especificaciones contienen varias consideraciones para el diseño de las estruc turas y habrá que apegarse a ellas, pero también muchas consideraciones para el diseño las dá la experiencia que se tenga en esa disciplina así co mo el detalle, fabricación, ensaye y finalmente el conocimiento del comportamiento que los dise ños anteriores han tenido en su vida útil.

5.2). Especificaciones.

Dentro de estos se contemplan generalmente las fórmulas de capacidades a utilizar para todos y cada uno de los miembros que conformarán la torre, desde la punta del copete hasta la pieza inferior de la cimentación, así como relaciones de esbeltez y consideraciones a tomar en el diseño.

Anteriormente se citaron los conceptos y fórmulas que utiliza el Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad, obra que establece los lineamientos para el cálculo de torres de transmisión en el país y se expondrán someramente las fórmulas y criterios más usuales para el cálculo de torres de transmisión, los cuales son aceptados para concursos internacionales.

Las fórmulas para el cálculo de capacidades de ángulo de mayor uso son las mencionadas en la "GUIDE FOR DESIGN OF STEEL TRANSMISSION TOWERS" de la "AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS" (ASCE). Estas son:

$$(1) \quad F_A = \left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2Cc} \right] F_y \quad \text{si} \quad \frac{KL}{r} < Cc$$

$$(2) \quad F_A = \frac{20124025}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad \text{si:} \quad \frac{KL}{r} > Cc$$

En donde:

$$(3) \quad Cc = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}}$$

donde:

F_y = Esfuerzo de fluencia del material

E = Módulo de elasticidad del material

$\frac{KL}{r}$ = Relación de esbeltez efectiva.

La relación de ancho/espesor estará dada por:

$$(4) \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = \frac{662.9}{\sqrt{F_y}}$$

donde:

b = distancia medida sobre el patín desde el extremo del ángulo a donde comienza la curvatura del mismo.

t = espesor del elemento.

En el caso de exceder $\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}$ las ecuaciones 1 y 3 deben de modificarse sustituyendo F_y por el valor de F_{cr} dado por la siguiente expresión:

$$(5) F_{cr} = \left[1.8 - \frac{0.8 \left(\frac{b}{t}\right)}{\left(\frac{b}{t}\right)_{lim}} \right] F_y$$

$$\text{Si } \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} < \left(\frac{b}{t}\right) \leq \frac{994.35}{\sqrt{F_y}}$$

Y:

$$(6) F_{cr} = \frac{590604}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \text{si } \frac{b}{t} > \frac{994.35}{\sqrt{F_y}}$$

Prácticamente para todos los casos en donde las piezas están conectadas de ambos lados $K = 1$, para otros casos K deberá valuarse según tipo y forma de conexión.

Para tornillos se toma la capacidad dada por el AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS (ASTM) Norma A-394.

Las capacidades de ángulos y tornillos se muestran en las tablas del apéndice.

5.3). Diseño de Copetes.

A pesar de que las cargas en los copetes son generalmente pequeñas, por su longitud alrededor de 4 ó 5 metros estos necesitan de un arriostamiento para disminuir la longitud de diseño.

Estas piezas redundantes siendo de $1\frac{1}{2}$ ó 2 pulgadas de patín se deberán conectar en piezas mayores, por lo tanto las cuerdas de los copetes, serán de 2 ó $2\frac{1}{2}$ pulgadas.

Será necesario tratar en lo posible que las cuerdas de los copetes en la punta formen cuando menos un ángulo de 15° , ya que de no ser así, las piezas redundantes no brindan el apoyo esperado.

La solución del detalle de la punta del copete viene dado por el tipo de dispositivo (herraje) para recibir al hilo de guarda.

5.4) . Diseño de Crucetas.

Para el diseño de las crucetas es conveniente tomar algunas consideraciones especiales. Una de ellas sería que los tensores no tomen carga a compresión sino que toda esta carga sea tomada por las cuerdas.

La consideración de la torsión que se produce en la cruceta generalmente no se toma en cuenta al igual que las excentricidades que produce el dispositivo para tomar la cadena de aisladores (herraje), y estos conceptos si no se toman en cuenta pueden producir la falla de la cruceta.

Igualmente que para los copetes el tratar de que las piezas en la punta (tensores y cuerdas) formen entre sí un ángulo mayor de 15° . Esto permite que las piezas redundantes trabajen como se ha supuesto.

5.5) . Diseño de brazos.

Los brazos para una torre de un circuito generalmente son piezas muy largas que requieren de muchos elementos para disminuir su longitud de diseño. Por lo tanto el estar verificando que disponer los redundantes más separados definirán unas cuerdas de mayor sección y de aquí que la comparación de peso sea indispensable.

5.6). Diseño de Patas y Celosía.

El diseño de las patas, una vez conocidos los esfuerzos que se presentan en cada tramo, prácticamente no tiene ninguna dificultad, si se "planean" las uniones y sus tipos; los largos máximos de cada tramo real de perfil y tanteando con los diferentes tipos de arriostramiento. Esto permitirá obtener la máxima eficiencia de diseño.

Para la celosía el problema de cuantificar la sección más adecuada para determinado panel involucra más cuidado, ya que será necesario valuar la K correspondiente al tipo de conexión. Es importante conocer si el punto de cruce de la celosía aporta un apoyo o no.

Las características de esbeltez según tipo de apoyo, se citan en algunas especificaciones, pero el valuar la importancia de las excentricidades se obtiene en forma particular en cada caso.

5.7). Conexiones.

Los tipos de conexiones generalmente para cuerdas o montantes son dos:

- 1.- Conexión a traslape.
- 2.- Conexión a tope.

La conexión a traslape tiene la ventaja de no usar aditamiento, simplemente se encima un ángulo a otro. Este último se deberá deslomar para un perfecto ensamble. Pero tiene problemas en cuanto al

desplazamiento de los gramiles, lo que provoca en ciertas ocasiones el aumentar algún perfil de la parte superior.

La conexión a tope aunque presenta desventaja de necesitar un ángulo interno y dos placas externas una para cada ala, es más usual por la facilidad de conexión y seguridad.

La celosía se trata de hacer llegar a los puntos de cálculo lo más cerca posible, evitando despatinar.

5.8). Cimentaciones.

Existen varios tipos de cimentaciones como son:

- 1.- De concreto.
- 2.- De acero.
- 3.- Pilas.
- 4.- Pilotes, etc.

Pero generalmente se trata de evitar la utilización de cimientos especiales a base de pilas o pilotes colocando las estructuras de ser posible en otro sitio.

Por lo tanto los tipos de cimientos mas usuales son los de concreto y parrilla de acero.

El cimiento de concreto esta conformado por un dado cuadrado que recibe a la pata, y transmite la

carga a una base generalmente cuadrada quien a su vez transmite dicha carga al terreno (Ver Fig. 5.1)

El cimiento de parrilla de acero consta de 4 "partitas" de ángulo que se apoyan en unas canales de acero, las que a su vez están unidas por ángulos que transmiten y distribuyen la carga (Ver Fig.)

Para ambos casos de cimiento se considera que se forma una pirámide truncada invertida de suelo que se opone a que el cimiento emerge de su posición.

Hay que hacer notar, que a pesar de que una torre tiene varios cuerpos y cada uno de estos puede tener varias alturas de extensiones, no se diseñan tipos de cimiento para alturas de torres o extensiones, sino que solamente se diseñan según el tipo de suelo en el cual estará desplantada la torre ya sean de acero o concreto.

El análisis y diseño de cimentaciones para torres de transmisión presenta problemas particulares - que surgen principalmente de las situaciones siguientes.

La posición elevada de los cables provoca en la estructura de soporte importantes momentos de volteo, mientras que las cargas verticales son relativamente bajas. Por lo que se necesitan diseñar las cimentaciones contra el levantamiento. Para este fin comúnmente se utiliza el procedimiento - de considerar una pirámide truncada invertida de

terreno que se opone a que se levante el cimiento.

Para poder tomar en cuenta la aportación de esta pirámide invertida es importante el compactar a adecuadamente el terreno, de otra forma se considera sólo el volumen de tierra, que se encuentra directamente encima del área ocupada por la base de la cimentación.

La capacidad de los cimientos y su comportamiento debe ser confiable ya que la aparición de asentamientos diferenciales en ellos generan un incremento en los esfuerzos en los miembros los cuales pueden ocasionar problemas en el comportamiento general de la estructura.

A continuación se determina el volumen de tierra que contiene la pirámide truncada invertida, y que se utiliza en el diseño del cimiento contra el levantamiento (Ver Fig. 5.1).

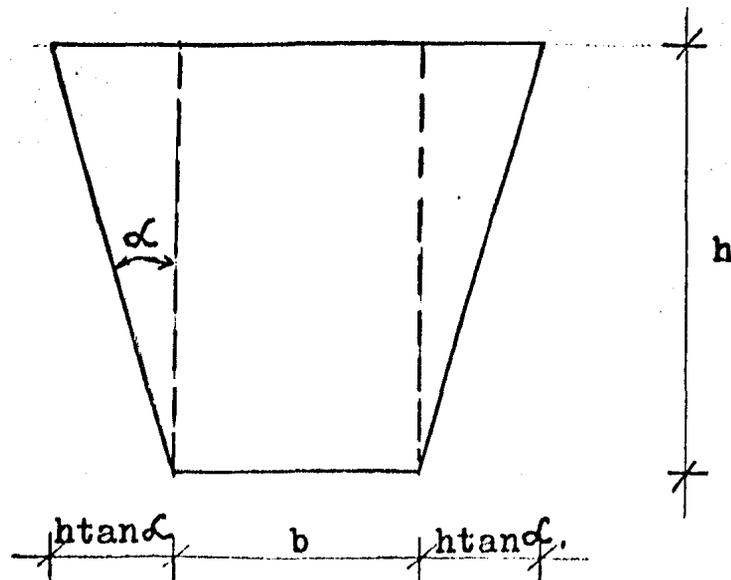
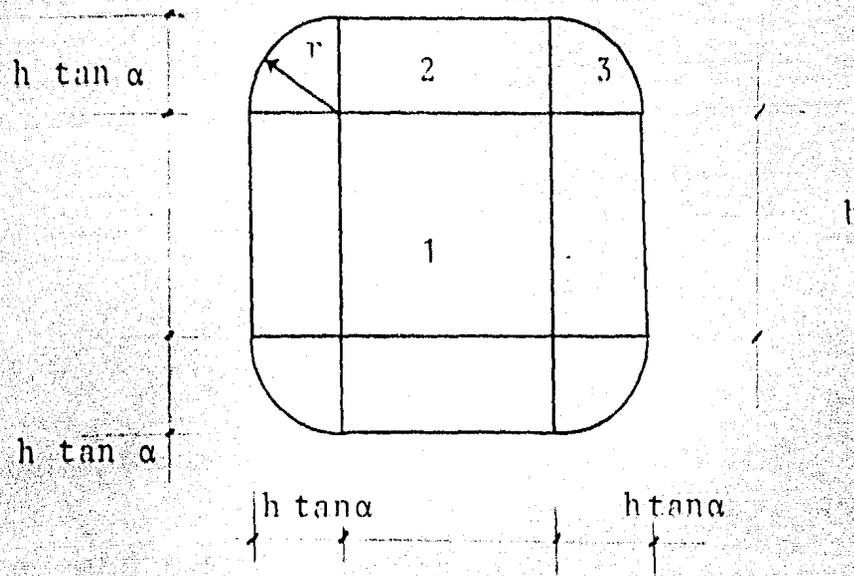


Fig. 5.1

Fig. 5.1



$$V_E = V_1 + 4 V_2 + 4 V_3 \quad (1)$$

$$V_E = h b^2 + \left(\frac{1}{2} b h r\right) + \frac{\pi h r^2}{3}$$

$$V_E = b^2 h + 2 b h^2 \tan \alpha + \frac{\pi h^3}{3} \tan^2 \alpha \quad (2)$$

El peso de esta pirámide será:

$$W_E = V_E \gamma \quad (3)$$

Para la condición de equilibrio

$$\frac{W_E}{T_{\max}} > , \text{ F.s.} \quad (4)$$

$$W_E = \text{F.s.} \times T_{\max} = tu \quad (5)$$

Sustituyendo las ecuaciones (3) y (5) en (2) tenemos:

$$\gamma \left(\frac{\pi}{3} \tan^2 \alpha\right) h^2 + \gamma (2b \tan \alpha) h^2 + \gamma (b^2) h = Tu \quad (6)$$

$$h^3 + \left(\frac{6b}{\pi \tan \alpha}\right) h^2 + \left(\frac{3b^2}{\pi \tan^2 \alpha}\right) h - \frac{3 Tu}{\gamma \pi \tan^2 \alpha} = 0 \quad (7)$$

Los coeficientes de la ecuación (7), para $\alpha = 30^\circ$ y 25° y $\gamma = 1600 \text{ Kg/m}$ que son los valores comúnmente empleados, serían:

Para 30°

$$h^3 + 3.30797 bh^2 + 2.86479 b^2 h - 1.7905 tu = 0$$

Para 25°

$$h^3 + 4.0767 bh^2 + 4.3836 b^2 h - 2.7397 tu = 0$$

C A P I T U L O 6

EJEMPLO DEL ANALISIS Y DISEÑO DE UNA TORRE DE SUSPENSION
DE 230 K.V. 1 CIRCUITO.

6.1). Introducción.

A continuación se presenta un ejemplo que muestra la utilización de los criterios antes expuestos. Se desarrolló un ejemplo de una torre tipo "DELTA" ya que en este queda involucrada, de alguna manera, la solución que tendría una torre tipo vertical. El estudio de otro tipo de estructura como torres tipo portal, de retenidas, en "V" o "Y", en la actualidad no son muy usuales y debido al enfoque propio de este trabajo, no se realizará ahora, pero cabe mencionar que sus soluciones tienen pocos variantes al que aquí se presenta.

La estructura que estudiaremos es una torre que utilizará la Comisión Federal de Electricidad en una línea de transmisión que se localiza entre Puerto Vallarta y Tepic. Como se mencionó en una torre de 230 K.V., 1 circuito tipo delta cuyas características de proyecto son:

Uso

- 0°/1100/1600

Presión de viento

- En cables Med = 103.16; Max. = 213.90 Kg/m²

- En estructuras.

Med. = 283.69; Max. = 588.23 Kg/m²

Se muestra su obtención.

Características del Conductor

900 MCM CANARY

- Diámetro = 0.02951 m.
- Peso = 1.624 Kg/m
- Tensión =

Características del Hilo de Guarda

SIEMENS -M 7 HILOS

- Diámetro = 0.00953 m.
- Peso = 0.406 Kg/m
- Tensión =

Características de la Cadena de Aisladores

(Suspensión) Tipo 5³/₄" x 10"

- Peso = 119 Kg.
- longitud = 2.68 mt.
- Diámetro = 0.254 mt.

Carga de Peso por Montaje.

C.M = 250 Kg.

Ahora procederemos a calcular lo de estructuración y "árboles de cargas". Ya se ha mencionado que para realizar una estructuración más apropiada es necesario tener a la mano los "árboles de cargas" aunque estos sean aproximados y después se afinen.

6.2). Estructuración.

Previamente a este concepto se realiza un cálculo con carácter provisional para conocer aproximadamente las cargas o sollicitaciones a que se -- --

someterá la estructura. De esta manera se obtuvo la altura de la trabe igual a 1.25 m. y un ancho de 1.10 m.

Los datos de proyecto definen la altura mínima - que debe de tener el conductor al piso y los parametros de distancias eléctricas. Ahora tanteando con los brazos, ancho de cintura y largo de trabe se definen el apoyo y la horquilla, recordando - que la pendiente de estos dos últimos sea la misma y el punto de unión lo más alto posible. La pieza interna del apoyo generalmente es sin inclinación.

La celosía del cuerpo piramidad será la del tipo "NORMAL" y la separación de las patas estará dada por la magnitud de la carga en ellas previamente obtenida en un cálculo estático y se trata en lo posible que la pendiente de los mismos cruce arriba de la trabe. Se desarrolla el estudio de la torre más alta que existirá en la línea, finalmente se obtienen los planos de Distancias Eléctricas y de Cuerpo Básico. (Ver Fig. respectivamente).

6.3). Solicitaciones.

A continuación se obtienen los "árboles de carga" definitivos que estarán actuando sobre la estructura.

Estos diagramas de cargas incluyen carga vertical transversal y longitudinal en su caso que actúan simultáneamente.

6.4). Análisis.

Para este caso el análisis se ha obtenido mediante computadora y un programa específico para torres de transmisión.

Se define el plano topológico, coordenadas y con las secciones aproximadas, se alimenta a la máquina con los datos necesarios.

Así el programa obtiene por cada condición y combinación de carga: los esfuerzos en cada elemento desplazamientos de los nudos y las reacciones en los apoyos. También realiza una normalización y cuantifica el peso propio de la estructura según las secciones proporcionadas.

Este análisis aunque es en el espacio, no debe de arrojar resultados muy dispares a los obtenidos previamente con el análisis estático.

Para fines de este trabajo se muestran algunas páginas de los resultados de la computadora.

6.5). Diseño.

Facilita el diseño el tener de ser posible todos los datos de cargas en los elementos en un solo plano, que muestre el número de la pieza por diseñar, las cargas de tensión y compresión máximas, así como la longitud real de la pieza.

A continuación se muestra aunque no en un plano - el diseño obtenido para esta torre de transmisión

según las fórmulas del Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad.

Cabe mencionar que también se realizó el diseño de esta estructura según las fórmulas del ASCE, obteniéndose un diseño un poco menos conservador.

6.6). Cimentaciones.

Para esta estructura se solicitaron los diseños de cimientos de acero y concreto. Para éste último según una capacidad de carga de 2, 1 y 0.5 T/cm².

Como la solución del cimiento de concreto para cada caso es similar, se muestra el cálculo del cimiento para una capacidad de carga de 2T/cm².

6.1) ANALISIS DE PRESION DE VIENTO EN CABLES Y TORRES.

1). VELOCIDAD REGIONAL

Según C.F.E. esta torre se diseñará para una zona costera . .

Velocidad Regional (km/hr)

	MEDIA	MAXIMA
zona A (Alta)	125	180

2). Velocidad Básica

$$V_B = V_R kt$$

V_R = Velocidad regional
 Kt = Factor de corrección por topografía del terreno
 (Tabla III.4).

Se tomará $kt = 1$ (zona costera o campo abierto)

$$V_B = 125 \times 1 = 125 \text{ km/hr.}$$

(med)

$$V_B = 180 \times 1 = 180 \text{ km/hr.}$$

(max)

3). Velocidad por variación de la altura.

La velocidad básica aumenta con la altura sobre el terreno según la siguiente expresión.

$$V_z = V_B K_1 \quad V_z = \text{Vel. a una altura } \geq 10\text{m}$$

K_1 = Coef. que depende de la topografía local según la sig. tabla (III.5)

α	Tipo de Terreno
0.14	Litoral o campo abierto
0.22	Zonas suburbanas.
0.33	Centro de grandes ciudades.

Aplicando la tabla (III.6) y suponiendo que los conductores se encuentran a una altura ± 20 mts. tenemos:

$$Z = 20 \text{ mts.}$$

$$\alpha = 0.14$$

$$K_1 = 1.10$$

$$V_{E(\text{med})} = 125 \times \left(\frac{20}{10}\right)^{0.14} = 137.74$$

$$V_Z(\text{max}) = 180 \times \left(\frac{20}{10}\right)^{0.14} = 198.34$$

4). Velocidad de Diseño

$$V_D = F_R \times V_Z$$

F_R = Factor de ráfaga que vale 1.3 para combinaciones 3 y 4 o para una torre > 60m. para otras combinaciones - valdrá 1.0

$$\left. \begin{array}{l} V_D \text{ med.} = 137.74 \times 1.3 = 179.06 \text{ km/hr} \\ V_D \text{ max.} = 198.34 \times 1.3 = 257.84 \text{ " "} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{p/combinaciones} \\ \text{de carga 3 y 4.} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_D \text{ med.} = 137.74 \times 1 = 137.74 \text{ km/hr.} \\ V_D \text{ max.} = 198.34 \times 1 = 198.34 \text{ " "} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{p/combinaciones} \\ \text{de carga 1, 2 y 5} \end{array}$$

5). Presiones de Viento en Torre y Cables.

$$P = 0.0048 \text{ GC } V_D^2$$

V_D = Velocidad de Diseño

G = Factor correctivo por altitud.

C = Coeficiente de arrastre

h = Altura en km. s.n.m.

$C = 1.2$ p/cables conductores y de guarda Según
 $C = 3.3$ para torre Especific.
 C.F.E.

(Ayudas de Diseño)

$h = .5$ km(según C.F.E.)

$$G = \frac{8 + h}{8 + 2h} = \frac{8 + .5}{8 + 2(.5)} = \frac{8.5}{9} = .944$$

PRESION DE VIENTO EN CABLES p/combinaciones de carga
3 y 4.

$$P_{VC} \text{ med} = 0.0048 \times .944 \times 1.2 \times (179.06)^2 = 174.34 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_{VC} \text{ max.} = 0.0048 \times .944 \times 1.2 \times (257.84)^2 = 361.49 \text{ Kg/m}^2$$

PRESIONES DE VIENTO EN TORRE p/combinaciones de carga
3 y 4.

$$P_{VT} \text{ med.} = 0.0048 \times .944 \times 3.3 \times (179.06)^2 = 479.43 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{VT} \text{ max.} = 0.0048 \times .944 \times 3.3 \times (257.84)^2 = 994.09 \text{ kg/m}^2$$

PRESION DE VIENTO EN CABLES p/combinaciones de carga

$$C_1) P_{VC} \text{ med.} = 0.0048 \times .944 \times 1.2 \times (137.74)^2 = 103.16 \text{ Kg/m}^2 (1,2)$$

$$C_2) P_{VC} \text{ max.} = 0.0048 \times .944 \times 1.2 \times (198.34)^2 = 213.90 \text{ kg/m}^2 (5)$$

PRESION DE VIENTO EN TORRE p/combinaciones de carga

$$D_1) P_{VT} \text{ med.} = 0.0048 \times .944 \times 3.3 \times (137.74)^2 = 283.69 \text{ kg/m}^2 (1,2)$$

$$D_2) P_{VT} \text{ max.} = 0.0048 \times .944 \times 3.3 \times (198.34)^2 = 588.23 \text{ kg/m}^2 (5)$$

CONDICIONES DE CARGA

6.3) . SIMBOLOGIA

F_V	=	Fuerza Vertical (Kg)
CMV	=	Claro Medio Vertical (mt.)
Wc	=	Peso de Conductor (Kg.)
Wh	=	Peso de cadena de aisladores y herrajes (Kg)
CM	=	Carga de Montaje (Kg)
F_T	=	Fuerza Transversal total (Kg).
F_{TH}	=	Fuerza Transversal (Kg)
P_{VC}	=	Presión de Viento en Cables (Kg/cm ²).
L_1	=	Claro Adyacente (m).
L_2	=	Claro Adyacente (m).
α	=	Angulo de la deflexión (grados).
F_{TL}	=	Fuerza transversal por Carga longitudinal-componente (Kg).
T_1	=	Tensión del cable adyacente (Kg).
T_2	=	Tensión del Cable adyacente (Kg).
T_C	=	Tensión del Cable (Kg).
T_R	=	Fuerza longitudinal (Kg).

CONDICIONES DE CARGA

1.- CONDICIONES DE CARGA A

$$F_v = (CMV) Wc + Wh + CM$$

a). EN CONDUCTORES.

$$F_v = 1600 (1.624) + 119 + 5$$

$$F_v = 2722.40 \text{ Kg.}$$

Para combinaciones 1, 2 y 5

$$F_v = 2722.40 \times 1.1 + 250 =$$

$$F_v = 3244.64 \text{ Kg.}$$

Para combinacion 4.

$$F_v = 2722.40 \text{ Kg.}$$

b). EN HILO DE GUARDA

$$F_v = 1600 (0.406) + 3 =$$

$$F_v = 652.60 \text{ Kg.}$$

Para combinaciones 1, 2 y 5

$$F_v = 652.80 \times 1.1 + 120 =$$

$$F_v = 837.86 \text{ Kg.}$$

2.- CONDICION DE CARGA B.

Esta condición de peso propio generalmente la obtiene la misma computadora y la anexa a las combinaciones de carga según el factor indicado.

3.- CONDICIONES DE CARGA C.

Como CMH > 700 m y la velocidad de viento es mayor de 100 Km/hr.

$$F_{TH} = 0.3 P_{VC} \phi (L_1 + L_2) \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$F_{TL} = (T_1 + T_2) \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F_T = F_{TH} + F_{TL}$$

$$\text{Considerando } L_1 = L_2 \Rightarrow T = T_1 = T_2$$

a). En Conductores.

$$\text{Para } C_1 : T_C = 0.25 \times 14,650 = 3,662.5$$

$$F_T = 0.3 (105) (0.02951) (1100 + 1100) \left(\cos \frac{2^\circ}{2} \right) + 2(3,662.5) \left(\sin \frac{2}{2} \right) =$$

$$F_T = 2044.73 + 127.839 = 2172.57 \text{ Kg.}$$

Para combinación 1.

$$F_T = 2172.57 (1.5) = 3258.86 \text{ Kg.}$$

Para la combinación 2.

$$F_T = 2172.57 (1.1) = 2389.83 \text{ Kg.}$$

$$\text{Para } C_2 : T_C = 0.50 \times 14,650 = 7325.0 \text{ Kg.}$$

$$F_T = 0.3(215)(0.02951)(1100 + 1100) \left(\cos \frac{2^\circ}{2}\right) + 2(7325) \left(\sin \frac{2^\circ}{2}\right) =$$

$$F_T = 4186.83 + 255.68 = 4442.51 \text{ Kg}$$

Para la combinación 5.

$$F_T = 4442.51 \times 1.1 = 4886.76 \text{ Kg.}$$

b).- En el hilo de guarda

$$\text{Para } C_1 : T_{HG} = 0.25 \times 4900 = 1225.0 \text{ Kg.}$$

$$F_T = 0.3(105)(0.00953)(1100 + 1100) \left(\cos \frac{2^\circ}{2}\right) + 2(1225) \left(\sin \frac{2^\circ}{2}\right) =$$

$$F_T = 160.33 + 42.76 = 703.09 \text{ Kg.}$$

Para la combinación 1

$$F_T = 703.09 (1.5) = 1054.63 \text{ Kg.}$$

Para la combinación 2

$$F_T = 703.09 (1.1) = 773.40 \text{ Kg}$$

$$\text{Para } C_2 : T_{HG} = 0.50 \times 4900 = 2450.0 \text{ Kg.}$$

$$F_T = 0.3(215)(0.00953)(1100 + 1100) \left(\cos \frac{2^\circ}{2}\right) + 2(2450) \left(\sin \frac{2^\circ}{2}\right)$$

$$F_T = 1352.10 + 85.52 = 1437.62 \text{ Kg.}$$

Para la combinación 5.

$$F_T = 1437.62 (1.1) = 1581.38 \text{ Kg.}$$

4.- CONDICION DE CARGA D Y E.

La presión de viento sobre la estructura ya sea transversal o longitudinal, puede calcularse de varias formas:

- 1). Mediante la computadora o
- 2). Calculando las áreas tributarias según unos perfiles supuestos o previamente calculados.

5.- CONDICION DE CARGA F.

a). En conductores

$$T_R = 0.25 (14650) 0.67 =$$

$$T_R = 2453.88 \text{ Kg.}$$

b). En hilo de guarda

$$T_R = 0.25 (4900) 0.67 =$$

$$T_R = 820.75 \text{ Kg.}$$

Para combinación 2.

En conductor : $2453.88 (1.1) = 2699.27 \text{ kg.}$

En hilo de guarda $820.75 (1.1) = 902.83 \text{ kg.}$

6.- CONDICION DE CARGA G.

$$G = G_1 = G_2 = 0$$

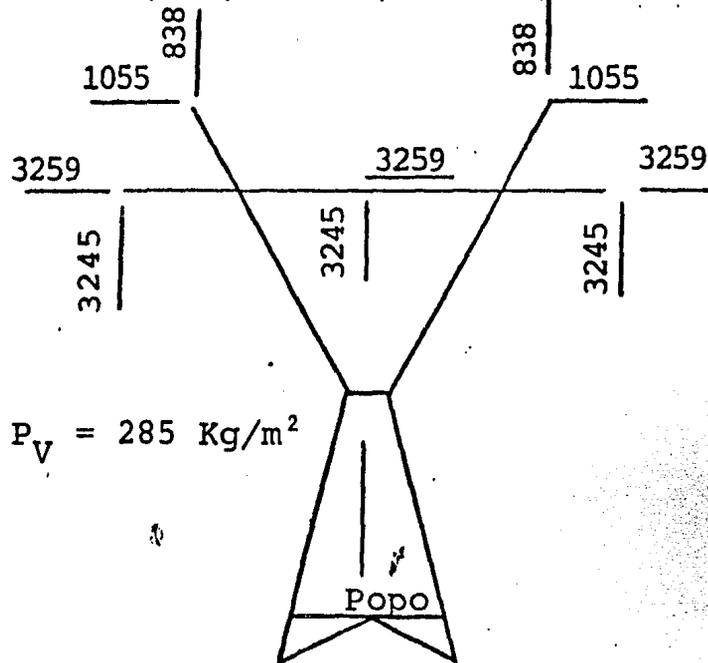
Por ser torre de suspensión.

L.T. 230 K.V. 1 CIRC.
USO 2°/1100/1600 M.

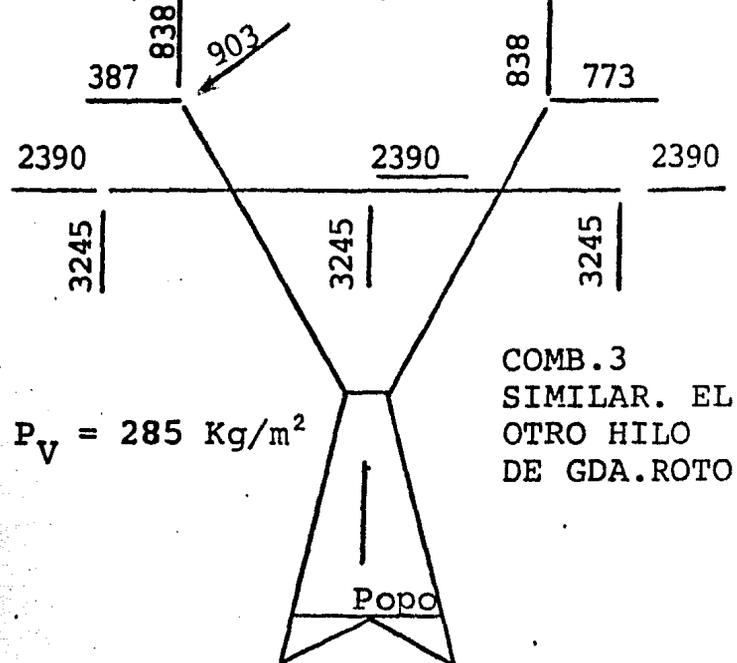
TORRE TIPO "D"

DIAGRAMAS DE CARGAS

COMB 1 (Normal Vto. Medio)
(A+B)1.1 + (C1+D1+G)1.5

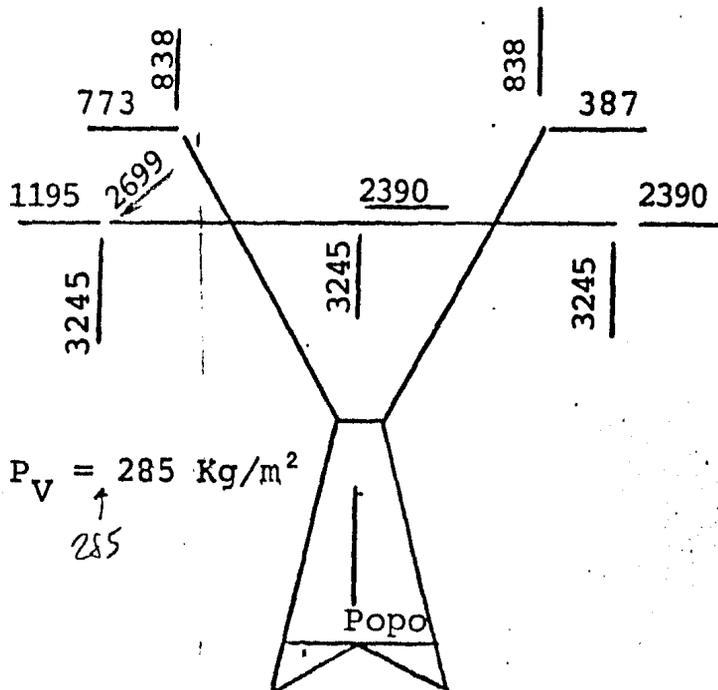


COMB 2 (Hilo de Gda.Roto)
(A+B+C1+D1+F)1.1

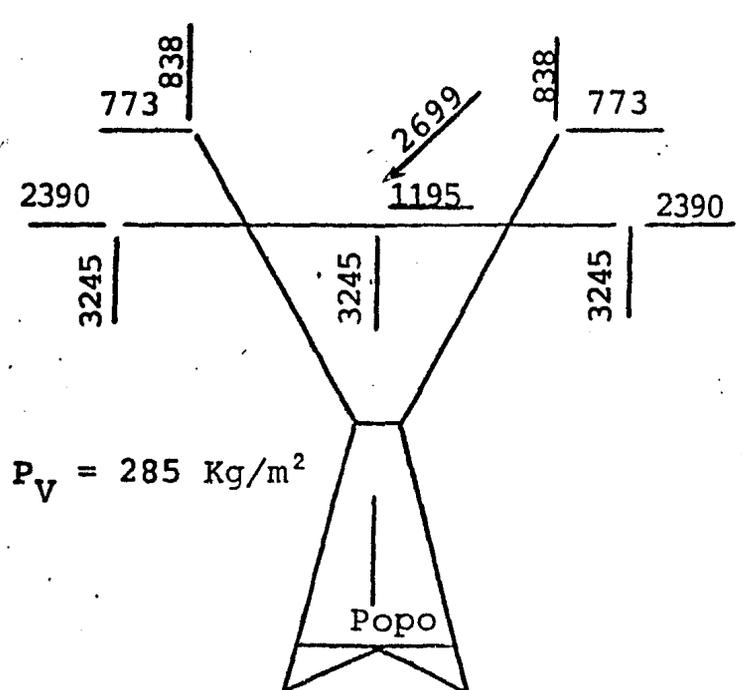


COMB.3
SIMILAR. EL
OTRO HILO
DE GDA.ROTO

COMB 4 (Cond. IZQ.ROTO)
(A+B+C1+D1+F)1.1



COMB 5 (COND. CENTRAL ROTO)
(A+B+C1+D1+F)1.1



LAS CARGAS MOSTRADAS INCLUYEN FACTOR DE SEGURIDAD. ADEMAS UNA CARGA DE MONTAJE DE 120 KG. PRA HILO DE GUARDA Y DE 250 KG. PARA CONDUCTOR.

A = CARGA VERTICAL

B = PESO PROPIO

C = CARGA TRANSVERSAL

D = CARGA LONGITUDINAL

F = ROTURA DE CABLE

G = CARGA DESBALANCEADA.

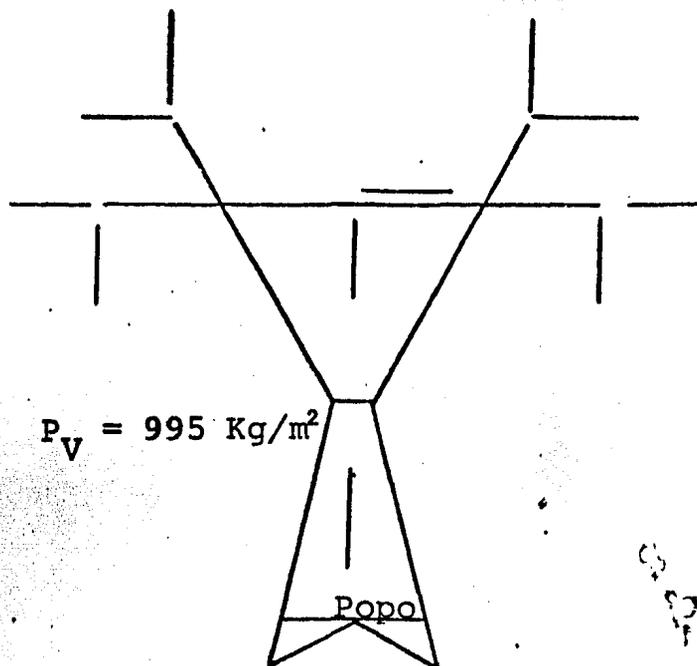
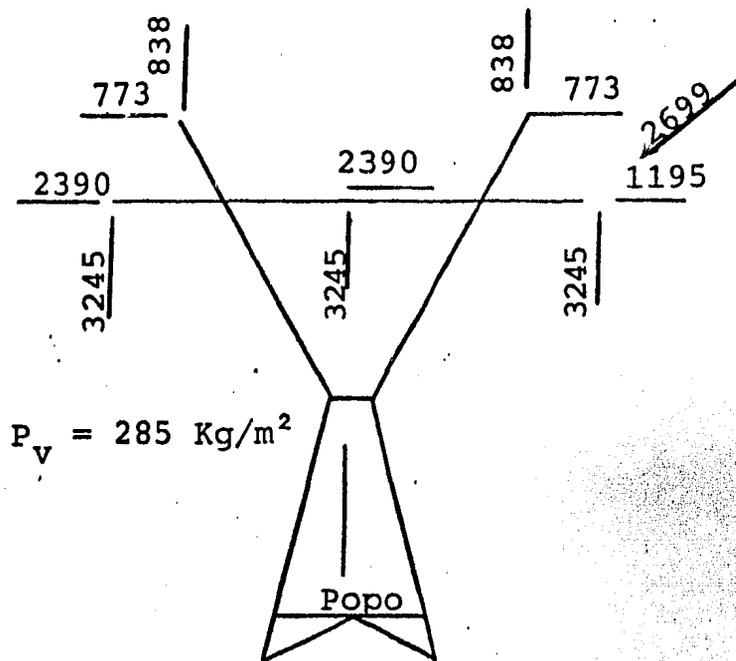
L.T. 230 K.V. 1 CIRC.
USO 2°/1100/1600 m.

TORRE TIPO "D"

DIAGRAMAS DE CARGAS

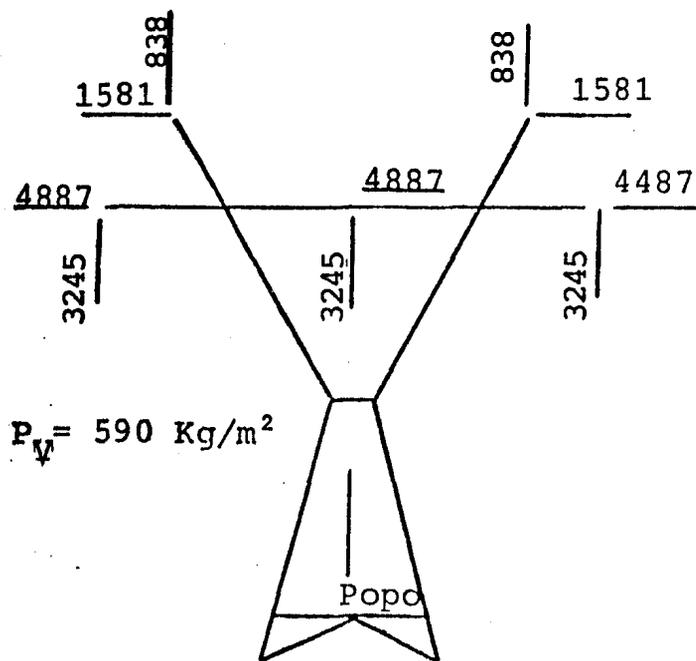
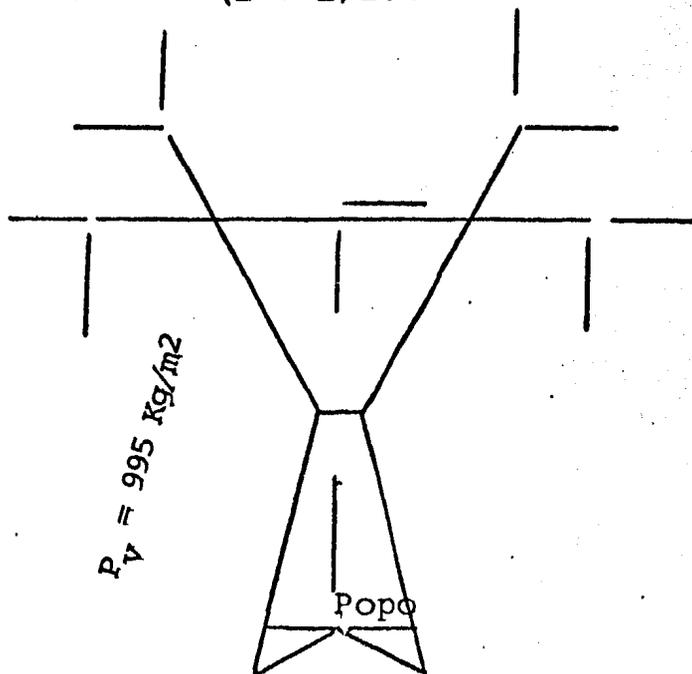
COMB. 6 (COND. DER. ROTO)
(A + B + C1 + D1 + F) 1.1

COMB. 7 (Vto. TRANS. MAX.)
(B + D₂) 1.1



COMB 8 (VTO. LONG. MAX.)
(B + E) 1.1

COMB 9 (NORMAL VTO. MAXIMO)
(A + B + C₂ + D₂ + G₂) 1.1



LAS CARGAS MOSTRADAS INCLUYEN FACTOR DE SEGURIDAD. ADEMAS UNA CARGA DE MONTAJE DE 120 Kg. PARA HILO DE GUARDA Y DE 250 Kg. - PARA CONDUCTOR.

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| A = CARGA VERTICAL | B = PESO PROPIO |
| C = CARGA TRANSVERSAL | D = CARGA LONGITUDINAL |
| F = ROTURA DE CABLE | G = CARGA DESBALANCEADA |

6.4) . ANALISIS Y DISEÑO POR COMPUTADORA.

Introducción:

La utilización de la computadora en problemas de la Ingeniería Civil, es actualmente de uso común lográndose reducción de tiempos, costos y optimización de resultados. En el diseño de estructuras se utilizan actualmente los procedimientos exactos que anteriormente no se llevaban a cabo por resultar demasiado laboriosos, acentuándose más en estructuras como las torres de transmisión por su grado de hiperestaticidad tan grande, todavía existen procedimientos gráficos y manuales de este tipo de estructuras, siendo confiables - los resultados hasta en un 90%, ya que existe una simplificación previa de la estructura al plano, además de una serie de hipótesis; complicándose la solución de la estructura cuando las combinaciones de carga muerta, viva y accidental son - muy variadas.

Aceros Ecatepec, S.A., cuenta con un programa de computadora llamado ECI 501/502 que analiza y diseña automáticamente las torres de transmisión - como armaduras en el espacio. Plantea la solución de la estructura a partir del grado de hiperestaticidad formando un sistema de N ecuaciones con N incógnitas, resolviéndolo en forma matricial por el método de rigideces.

El diseño automático, consiste en un proceso iterativo, partiendo de unas secciones propuestas para todas las barras; en el 1er, ciclo de análisis calcula las fuerzas normales de tensión y compresión para cada combinación de carga seleccionando la que dirige el diseño, conocida la carga de trabajo y la longitud de cada barra selecciona de un grupo de datos de propiedades de perfiles angulares la sección que satisface los requerimientos mecánicos, revisándola por pandeo general, pandeo local y tensión o compresión axial, según los criterios de diseño. Repitiendo el procedimiento hasta por 20 ciclos, normalmente con 3 ciclos de análisis y diseño es más que suficiente para lograr un diseño confiable.

UTILIZACION DEL PROGRAMA.

La utilización adecuada del programa se reduce a tres puntos básicos.

- a.- Se debe tener en cuenta la capacidad de la máquina IBM 370/155.
- b.- La información o datos de entrada se deben suministrar respetando el orden y formatos.
- c.- Se requiere una revisión minuciosa de los puntos anteriores y de la misma estructura evitando mecanismos no estables.

1.- CAPACIDAD DEL PROGRAMA ECI 501/502.

a.-	Núm. de Nudos	500
b.-	Núm. de barras	800
c.-	Núm. de deformaciones iguales	100

d.-	Núm. de condiciones de carga	30
e.-	Núm. de combinaciones de carga	34
f.-	Cálculo automático de 3 condiciones de Vto. en la estructura.	
g.-	Cálculo automático de 3 condiciones de sismo en la estructura	
h.-	Cálculo de reacciones en apoyos	50
i.-	Núm. de grupos con pesos parciales	10
j.-	Núm. de barras normalizadas	400
k.-	Núm. de grupos de perfiles angulares.	15
l.-	Núm. de perfiles en cada grupo	150
m.-	Núm. máximo de iteraciones de análisis y diseño.	20
n.-	Tamaño de la matriz general de rigideces MAX SG = 130000	

Donde: $MAX SG = N (JB + 1 + LC) = 130000$

MAX SG.- es la matriz general de rigideces

N.- Es el Núm. total de grados de libertad en la torre.

JB.- Es el ancho de la media banda de la matriz general de rigideces y es igual a la máxima diferencia numérica en grados de libertad, entre los nudos extremos de cualquier barra de la torre más uno.

LC.- Es el Núm. de condiciones de carga.

INFORMACION DE ENTRADA.

- a.- Todos los datos se deben proporcionar en kilogramos y centímetros.
- b.- La información básica de la torre estará definida según 3 incisos:
- 1.- Topología.
 - Coordenadas en el espacio de cada uno de los nudos.
 - Incidencias o nudos extremos de cada barra.
 - Areas propuestas para cada pieza o por grupo de barras.
 - Apoyos.
 - 2.- Condiciones y Combinaciones de Carga.
 - Fuerzas en los nudos según ejes y direcciones de acción.
 - Combinaciones.
Condiciones de carga que actúan simultáneamente.
 - Presión de viento.- El programa ECI 501/502 Calcula la presión de viento sobre la estructura cuando se requiere.
 - 3.- Criterios de diseño.
 - Se puede solicitar una normalización según grupo de barras.
 - Se proponen longitudes de pandeo y relaciones de esbeltez.
 - Se suministran características de tipo de conexión.
- c.- Los resultados emitidos por la computadora son los siguientes.
- Datos de entrada.- Este inciso es muy importante ya que deberá certificarse que los datos propuestos sí corresponden a los datos con los que se "corrió" la estructura.
- Para cada ciclo, obtiene:
- Fuerzas en las barras para cada condición y

combinación de carga axial y para cada uno de los ejes.

- Deformaciones de los nudos según ejes.
- Reacciones de los apoyos.

Y para el último ciclo, nos da:
catorce columnas, que son:

- 1.- Número de barra y tipo de acero con el que se diseñó (AR o STD).
- 2.- Grupo de ángulos con los que se diseñó, para torres es siempre 1.
- 3.- Número de la sección obtenida.
cada perfil tiene un número.
- 4.- Sección a utilizar.

L = Angulo sencillo

2L = 2 ángulos espalda con espalda.

2L* = 2 ángulos en estrella.

4L* = 4 ángulos en estrella.

Rara vez se utilizan ángulos en estrella.

- 5.- Perfil.
- 6.- Peso del perfil por metro.
- 7.- Relación de esbeltez en "Z"
- 8.- Relación de esbeltez en "X"
- 9.- Tipo de miembro en cuanto a su importancia estructural.
 - 1 = Principales.
 - 2 = Secundarias.
- 10.- Longitud de la pieza.
- 11.- Número de la condición de carga que rigió para el diseño.

12.- Carga máxima en la pieza.

Signo positivo = tensión.

Signo negativo = compresión.

13.- Esfuerzo máximo en la pieza.

(Igual convención de signos que Col. 14).

14.- Porcentaje de trabajo de la sección.

- Peso total de la estructura.

NUMERO DE ITERACIONES= 2.5 CROCIEN DE SALIDA= 2
PROPIEDADES DE LAS SECCIONES DADAS POR EL ARCHIVO PERMANENTE DE ECATEPEC (0).

UNIDADES DADAS DE ENTRADA Y SALIDA SI SE FIEREN A KGS. Y CENTIMETROS *MM
MÓDULO DE ELASTICIDAD= 2039000.00
CANTIDAD TOTAL DE ELEMENTOS= 528
CANTIDAD TOTAL DE NÚDOS= 131
CANTIDAD TOTAL DE CARGOS= 110
CANTIDAD TOTAL DE NÚDOS PARCIALMENTE LIBRES= 4

COORDENADAS X Y Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102																																												
55.5	0.0	0.0	4866.000	0.0	0.0	4866.000	0.0	0.0	4866.000	3	-55.000	0.0	4866.000	6	-73.000	4866.000	0.0	4866.000	9	-55.000	0.0	4866.000	12	-55.000	0.0	4866.000	15	-55.000	0.0	4866.000	18	-55.000	0.0	4866.000	21	-55.000	0.0	4866.000	24	-55.000	0.0	4866.000	27	-55.000	0.0	4866.000	30	-55.000	0.0	4866.000	33	-55.000	0.0	4866.000	36	-55.000	0.0	4866.000	39	-55.000	0.0	4866.000	42	-55.000	0.0	4866.000	45	-55.000	0.0	4866.000	48	-55.000	0.0	4866.000	51	-55.000	0.0	4866.000	54	-55.000	0.0	4866.000	57	-55.000	0.0	4866.000	60	-55.000	0.0	4866.000	63	-55.000	0.0	4866.000	66	-55.000	0.0	4866.000	69	-55.000	0.0	4866.000	72	-55.000	0.0	4866.000	75	-55.000	0.0	4866.000	78	-55.000	0.0	4866.000	81	-55.000	0.0	4866.000	84	-55.000	0.0	4866.000	87	-55.000	0.0	4866.000	90	-55.000	0.0	4866.000	93	-55.000	0.0	4866.000	96	-55.000	0.0	4866.000	99	-55.000	0.0	4866.000	102	-55.000	0.0	4866.000

EXICO, S. DE C.

882.00	43	2	882.00	1
2245.00	2	3	2245.00	1
2699.00	41	1	2699.00	1
157.00	60	2	157.00	1
157.00	63	NON	157.00	1
313.00	92	2	313.00	1
422.00	103	2	422.00	1
594.00	110	NON	594.00	1
594.00	113	NON	594.00	1
612.00	124	NON	612.00	1
0.00	0	0	0.00	0

CONDICION DE CARGA N.º 5 CONDUCTOR FOTO ALCO 2 PARA COMBINACION N.º 2

NUMERO DE CARGAS = 1
 CASE RECIPRO = 0
 TREFEY = 0
 VITATE = 0

882.00	43	2	882.00	1
2245.00	2	3	2245.00	1
2699.00	41	1	2699.00	1
157.00	60	2	157.00	1
157.00	63	NON	157.00	1
313.00	92	2	313.00	1
422.00	103	2	422.00	1
594.00	110	NON	594.00	1
594.00	113	NON	594.00	1
612.00	124	NON	612.00	1
0.00	0	0	0.00	0

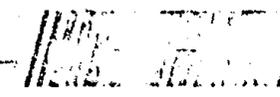
CONDICION DE CARGA N.º 41 CONDUCTOR FOTO ALCO 41 PARA COMBINACION N.º 2

NUMERO DE CARGAS = 1
 CASE RECIPRO = 0
 TREFEY = 0
 VITATE = 0

882.00	43	2	882.00	1
2245.00	2	3	2245.00	1
2699.00	41	1	2699.00	1
157.00	60	2	157.00	1
157.00	63	NON	157.00	1
313.00	92	2	313.00	1
422.00	103	2	422.00	1
594.00	110	NON	594.00	1
594.00	113	NON	594.00	1
612.00	124	NON	612.00	1
0.00	0	0	0.00	0

CONDICION DE CARGA N.º 7 VIENTI 02 PARA COMBINACION N.º 3

NUMERO DE CARGAS = 1
 CASE RECIPRO = 0
 TREFEY = 0
 VITATE = 0



TELEFORMATICA DE MEXICO

1	1500.00	43	1	1500.00	2	1	1531.00	1
2	1321.00	41	1	1321.00	60	1	875.00	1
3	875.00	62	1	875.00	63	1	975.00	1
4	1221.00	31	1	1221.00	92	1	1282.00	1
5	1221.00	32	1	1221.00	103	1	1476.00	1
6	1476.00	33	1	1476.00	110	1	2081.00	1
7	2000.00	34	1	2000.00	113	1	2081.00	1
8	2145.00	35	1	2145.00	124	1	2145.00	1
9	2145.00	36	0	0.00	0	0	0.00	0

COMBINACION DE CARGA No. 4 PARA COMBINACION N.4
 PESO CARGA= 1
 PESO PROPIO= 0
 TIEMPO= 0
 VIENTO= 0

1	1500.00	43	1	1500.00	2	1	1531.00	1
2	1321.00	41	1	1321.00	60	1	875.00	1
3	875.00	62	1	875.00	63	1	975.00	1
4	1221.00	31	1	1221.00	92	1	1282.00	1
5	1221.00	32	1	1221.00	103	1	1476.00	1
6	1476.00	33	1	1476.00	110	1	2081.00	1
7	2000.00	34	1	2000.00	113	1	2081.00	1
8	2145.00	35	1	2145.00	124	1	2145.00	1
9	2145.00	36	0	0.00	0	0	0.00	0

COMBINACION DE CARGA No. 9 PARA COMBINACION DE CARGA N.5
 PESO CARGA= 1
 PESO PROPIO= 0
 TIEMPO= 0
 VIENTO= 0

1	1221.00	42	2	1221.00	42	2	1805.00	1
2	1831.00	41	2	1831.00	42	2	3245.00	1
3	5167.00	40	2	5167.00	41	2	5167.00	1
4	3245.00	39	2	3245.00	61	2	3245.00	1
5	3245.00	38	2	3245.00	90	2	649.00	1
6	649.00	37	2	649.00	93	2	649.00	1
7	875.00	36	2	875.00	104	2	875.00	1
8	1221.00	35	2	1221.00	111	2	1221.00	1
9	1221.00	34	2	1221.00	122	2	1268.00	1
10	1268.00	33	2	1268.00	125	2	1268.00	0

COMBINACION DE CARGA No. 10 PESO PROPIO
 PESO CARGA= 1
 PESO PROPIO= 1
 TIEMPO= 0
 VIENTO= 0

EL PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA ESTA INCLUIDO AQUI

TELEINFORMATICA L

*** SECCIONES DESPUES DE LA NORMALIZACION ***

TORRE "D" CON ESP. 4-VIII-52

NO.	CANTON	SECCION	PROF.	AL/PR	AL/RY	PRIN./SEC.	LONGITUD	COMB	COMPRESION/(TENSION EN SECCION LINEA)			
									FUERZA	ESFUERZO	PRELACION AL ADMISIBLE	
1	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
1	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	7487.40	1238.969	0.310
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	8961.08	1482.825	0.371
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-7459.04	-1061.029	0.475
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	6.23	1.047	0.000
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-6933.23	-1273.730	0.569
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	23.41	3.874	0.001
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-5814.95	-827.162	0.371
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	217.50	52.538	0.013
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-7457.38	-1060.793	0.475
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	3810.56	620.548	0.156
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	8	-386.24	-54.941	0.025
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	5511.38	911.990	0.228
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-267.86	-40.947	0.018
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	5847.86	967.668	0.242
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	7451.52	1239.650	0.310
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-3787.60	-538.775	0.241
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-5490.34	-780.588	0.350
2	20	1	3.0X4/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	8	415.15	68.722	0.017
2	20	1	3.0X4/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	-5892.97	-838.260	0.377
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	8	263.23	43.557	0.011
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	-7537.41	-1073.177	0.462
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	3770.61	623.937	0.156
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	8	-441.15	-62.753	0.028
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	5417.01	926.322	0.227
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	-232.67	-33.096	0.015
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	5910.20	977.984	0.244
2	20	1	3.0X3/15	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	7545.45	1248.582	0.312
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-3736.91	-531.566	0.238
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-5440.00	-772.826	0.347
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	8	461.50	77.524	0.019
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	-5490.18	-780.964	0.351
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	8	187.67	30.443	0.038
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	-5788.64	-823.420	0.370
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	9	3605.91	597.346	0.149
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.84	60.78	2	145.262	8	-490.00	-69.721	0.021
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	4523.40	748.504	0.187
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-8050.06	-1145.101	0.513
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-7613.05	-1082.938	0.485
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	8	2445.85	404.730	0.101
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	-2301.25	-327.347	0.147
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	11826.46	1956.970	0.489
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	1	0.0	0.0	0.0
2	20	1	3.0X3/16	5.52	96.50	60.57	2	144.755	9	12574.07	2080.679	0.520

TELEFONICA DE MEXICO, S.A.

Line	Code	Qty	Unit	Description	Rate	Total	Balance	Debit	Credit	Balance
1	00	1		66.98	2	160.078	1	0.00	0.00	0.00
2	00	1		66.98	2	160.078	9	-13612.00	1552.00	0.388
3	00	1		66.98	2	160.078	9	-12275.62	-1936.276	0.961
4	00	1		70.79	2	169.177	9	-5379.75	0.00	0.00
5	00	1		70.79	2	169.177	1	-4581.00	-1746.177	0.866
6	00	1		70.79	2	169.177	8	-5211.19	41.910	0.010
7	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	-826.376	0.446
8	00	1		83.43	1	146.000	4	-3478.29	0.00	0.00
9	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	-691.637	0.347
10	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	860.211	0.215
11	00	1		83.43	1	146.000	4	-3478.29	-742.274	0.395
12	00	1		83.43	1	146.000	6	-3202.25	40.422	0.010
13	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	-424.777	0.264
14	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	829.091	0.210
15	00	1		83.43	1	146.000	4	-3478.29	-234.143	0.139
16	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	851.188	0.213
17	00	1		83.43	1	146.000	4	-3478.29	-1274.201	0.058
18	00	1		83.43	1	146.000	6	-3202.25	758.509	0.190
19	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	-383.044	0.179
20	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	475.197	0.119
21	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	-444.235	0.208
22	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	400.825	0.100
23	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	-274.759	0.128
24	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	1463.889	0.366
25	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
26	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	1420.567	0.355
27	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	-1194.998	0.558
28	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
29	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	-1219.274	0.570
30	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	426.749	0.110
31	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	-332.430	0.155
32	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	14360.00	0.487
33	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
34	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	14124.29	0.479
35	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	-15853.35	0.886
36	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
37	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	-1914.573	0.894
38	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	458.616	0.115
39	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	-327.130	0.153
40	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	9199.32	0.312
41	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
42	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	672.061	0.228
43	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	-13480.77	0.753
44	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
45	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	-1846.009	0.629
46	00	1		83.43	1	146.000	6	-1852.84	426.670	0.107
47	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	-318.905	0.181
48	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	2650.98	0.139
49	00	1		83.43	1	146.000	4	-2063.21	-355.114	0.202
50	00	1		83.43	1	146.000	4	-2063.21	2252.79	0.117
51	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	-4113.09	0.403
52	00	1		83.43	1	146.000	5	-10200.00	1045.91	0.054
53	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	-3966.94	0.388
54	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	1893.22	0.098
55	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	-2235.49	0.219
56	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
57	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	1373.018	0.331
58	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	6932.62	0.362
59	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	-8581.24	0.849
60	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	0.00	0.00
61	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	-8849.02	0.875
62	00	1		83.43	1	146.000	8	-5276.02	2707.54	0.140
63	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	-2674.87	0.284
64	00	1		83.43	1	146.000	9	-10753.62	13007.95	0.674
65	00	1		83.43	1	146.000	1	0.00	0.00	0.00

TELEFONO 23 0666 DE MEXICO

Line	Code	Rate	Amount	Rate	Amount	Rate	Amount	Rate	Amount	Rate	Amount	Rate	Amount
1			147.00	61.51	1	147.00							
2			147.00	61.51	1	147.00							
3			147.00	61.51	1	147.00							
4			214.00	89.54	1	214.00							
5			142.67	59.54	1	142.67							
6			142.67	89.54	1	214.00							
7			142.67	89.54	1	214.00							
8			72.37	47.01	2	55.00							
9			72.37	47.01	2	55.00							
10			135.74	57.85	2	182.80							
11			135.74	57.85	2	182.80							
12			135.74	57.85	2	182.80							
13			136.34	58.10	2	183.60							
14			136.34	58.10	2	183.60							
15			136.34	58.10	2	183.60							
16			136.34	58.10	2	183.60							
17			136.34	58.10	2	183.60							
18			136.34	58.10	2	183.60							
19			136.34	58.10	2	183.60							
20			136.34	58.10	2	183.60							
21			108.91	69.62	2	110.00							
22			108.91	69.62	2	110.00							
23			152.24	64.88	2	205.01							
24			152.24	64.88	2	205.01							
25			152.24	64.88	2	205.01							
26			152.24	64.88	2	205.01							
27			108.91	69.62	2	110.00							
28			108.91	69.62	2	110.00							
29			135.74	57.85	2	182.80							
30			135.74	57.85	2	182.80							
31			180.99	115.70	2	182.80							

TELEFONICA DE MEXICO, S.A.

1	1	2.00X1/3	1.00	199.14	86.24	2	201.794	6	-514.58	-350.847	0.522
1	2	1.50X1/3	1.50	199.14	86.24	2	201.794	8	-1526.88	-907.313	0.227
1	3	1.00X1/3	1.00	199.14	86.24	2	201.794	9	-1574.72	-672.958	0.894
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	6	141.41	84.033	0.021
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	1	-2016.09	-650.352	0.670
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	1	0.0	0.0	0.0
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	9	-1495.26	-481.373	0.496
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	8	1691.76	692.553	0.272
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	1	-3016.57	-973.217	0.727
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	1	0.0	0.0	0.0
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	9	-1473.30	-475.324	0.355
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	8	3081.01	1261.234	0.315
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	2	201.794	9	-3000.78	-969.766	0.724
2	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	9	3606.41	1476.306	0.369
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	1	0.0	0.0	0.0
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	9	3354.05	1373.004	0.343
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	8	-4976.42	-1603.361	0.745
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	7	323.35	132.365	0.033
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	4	4480.64	1555.045	0.072
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	8	4887.71	2000.815	0.500
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	8	-4977.88	-1603.766	0.746
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	1	0.0	0.0	0.0
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	9	-2977.53	-960.492	0.446
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	8	4895.50	2004.005	0.501
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	8	-1120.87	-156.440	0.063
1	5	2.00X1/3	2.00	148.38	63.06	1	574.625	9	15225.13	2519.361	0.630
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	1	0.0	0.0	0.0
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	1	0.0	0.0	0.0
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-16316.19	-2659.903	0.675
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-13579.86	-1931.705	0.758
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	1	0.0	0.0	0.0
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-13801.28	-1963.197	0.770
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	8	1022.47	169.191	0.042
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	8	-284.96	-40.535	0.016
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	16287.71	2711.737	0.678
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	1	0.0	0.0	0.0
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-16987.57	-2810.999	0.703
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-14315.05	-2036.280	0.802
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	1	0.0	0.0	0.0
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-14355.18	-2047.679	0.807
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	8	116.27	19.240	0.005
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	1	0.0	0.0	0.0
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	15915.55	2633.607	0.658
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	8	-483.83	-68.824	0.027
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	16161.51	2674.307	0.659
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-13945.61	-1983.728	0.778
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	8	298.73	49.432	0.012
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	9	-13915.30	-1975.417	0.776
1	20	3.00X3/15	5.52	79.07	49.63	1	118.609	1	0.0	0.0	0.0
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	-22435.45	-1751.959	0.698
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	1	0.0	0.0	0.0
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	-23514.24	-1801.457	0.701
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	8	2240.52	159.981	0.050
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	8	-1871.73	-149.499	0.058
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	19674.00	1756.035	0.439
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	1	0.0	0.0	0.0
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	-19864.37	-1748.928	0.437
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	-23065.22	-1842.270	0.717
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	1	0.0	0.0	0.0
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	-23111.45	-1845.963	0.719
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	8	4605.46	471.063	0.103
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	8	-4236.94	-338.573	0.132
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	20491.50	1821.006	0.455
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	1	0.0	0.0	0.0
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	23249.46	1811.432	0.454
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	-22725.16	-1815.109	0.707
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	1	0.0	0.0	0.0
1	24	4.00X1/4	9.02	77.94	49.26	1	156.659	9	-22720.36	-1814.725	0.707

TELLO 1943210 DE MEXICO

1	34	L	4.0X1/4	9.82	77.94	49.26	1	156.659	8	6475.41	576.331	J. 140
									8	-6097.41	-487.013	J. 190
1	34	L	4.0X1/4	9.82	77.94	49.26	1	156.659	9	19959.47	1781.510	J. 445
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	77.94	49.26	1	156.659	9	15911.79	1777.263	J. 444
									1	-23070.50	-1841.893	J. 717
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	77.94	49.26	1	156.659	9	-22979.36	-1835.412	J. 715
									8	8179.41	750.065	J. 183
1	34	L	4.0X1/4	9.82	77.94	49.26	1	156.659	8	-7709.62	-615.784	J. 240
									9	20421.48	1822.753	J. 456
1	34	L	4.0X1/4	9.82	77.94	49.26	1	156.659	1	C.C	0.0	J. 0
									9	20377.82	1818.856	J. 455
1	34	L	4.0X1/4	9.82	106.15	67.10	1	213.368	9	-21176.73	-1891.432	J. 834
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	106.15	67.10	1	213.368	1	-21098.56	-1885.139	J. 831
									8	9650.25	861.349	J. 215
1	34	L	4.0X1/4	9.82	106.15	67.10	1	213.368	8	-9344.43	-746.363	J. 368
									9	18282.71	1633.158	J. 438
1	34	L	4.0X1/4	9.82	106.15	67.10	1	213.368	1	C.C	0.0	J. 0
									9	18271.95	1630.893	J. 438
1	34	L	4.0X1/4	9.82	85.69	41.52	1	132.030	9	-18042.00	-1281.469	J. 486
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	85.69	41.52	1	132.030	9	-14723.59	-1176.006	J. 427
									8	8121.83	724.927	J. 181
1	34	L	4.0X1/4	9.82	85.69	41.52	1	132.030	8	-8691.63	-754.219	J. 252
									9	7101.98	633.863	J. 158
1	34	L	4.0X1/4	9.82	85.69	41.52	1	132.030	4	-1101.34	-95.155	J. 835
									8	8122.16	724.927	J. 181
1	34	L	4.0X1/4	9.82	66.13	41.80	1	132.925	9	-17240.06	-1284.589	J. 505
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	66.13	41.80	1	132.925	9	-16116.43	-1287.255	J. 464
									8	11394.84	1017.066	J. 254
1	34	L	4.0X1/4	9.82	66.13	41.80	1	132.925	8	-12020.11	-960.373	J. 350
									9	7913.86	706.365	J. 177
1	34	L	4.0X1/4	9.82	66.13	41.80	1	132.925	4	-1274.08	-101.764	J. 037
									8	11381.74	1015.896	J. 254
1	34	L	4.0X1/4	9.82	65.47	41.38	1	131.594	4	-18102.34	-1445.874	J. 525
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	65.47	41.38	1	131.594	9	-15321.67	-1225.532	J. 445
									8	12735.38	1225.974	J. 306
1	34	L	4.0X1/4	9.82	65.47	41.38	1	131.594	8	-14279.86	-1148.551	J. 417
									9	7077.50	631.714	J. 158
1	34	L	4.0X1/4	9.82	65.47	41.38	1	131.594	4	-1831.22	-146.264	J. 053
									8	13736.35	1226.065	J. 207
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.18	51.94	1	165.179	8	-14421.55	-1152.679	J. 462
									9	18852.41	1682.792	J. 421
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.18	51.94	1	165.179	1	C.C	0.0	J. 0
									9	20020.07	1786.925	J. 447
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.18	51.94	1	165.179	9	-24019.88	-1918.521	J. 768
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.18	51.94	1	165.179	9	-25031.32	-1999.307	J. 800
									8	13172.13	1175.790	J. 294
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.39	1	166.598	8	-14656.48	-1173.645	J. 471
									9	19550.65	1745.026	J. 436
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.39	1	166.598	1	C.C	0.0	J. 0
									9	20347.19	1816.122	J. 454
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.39	1	166.598	9	-25001.00	-1996.805	J. 803
									1	C.C	0.0	J. 0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.39	1	166.598	9	-25712.65	-2053.726	J. 826
									8	13210.14	1174.093	J. 294
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.67	52.25	1	166.163	8	-14713.71	-1175.217	J. 472
									9	19234.80	1716.834	J. 429
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.67	52.25	1	166.163	1	C.C	0.0	J. 0
									9	19718.21	1759.582	J. 440
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.67	52.25	1	166.163	9	-24732.65	-1975.551	J. 794
									1	C.C	0.0	J. 0

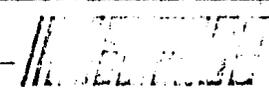
TEL. 1716-8341 DE MEXICO

1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.87	52.25	1	166.163	9	-25215.11	-2013.986	0.809
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	8	-14818.95	-1188.622	0.292
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	9	19507.57	1741.180	0.476
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	1	0.0	0.0	0.435
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	9	-19754.04	-1763.180	0.0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	9	-25237.06	-2015.783	0.441
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	9	0.0	0.0	0.811
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	9	-25528.29	-2029.021	0.0
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	9	13208.54	1161.098	0.820
1	34	L	4.0X1/4	9.82	82.88	52.35	1	166.598	9	-9.0	-20.778	0.290
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	0.0	0.0	0.040
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-9.0	-29.065	0.038
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	78.17	51.171	0.012
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-42.85	-13.833	0.012
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	92.70	57.947	0.015
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	77.46	46.043	0.018
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	4	-14.85	-11.854	0.002
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-24.77	-14.840	0.006
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-21.11	-13.124	0.016
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-21.11	-13.820	0.015
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-20.88	-13.587	0.004
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-20.88	-11.994	0.005
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-20.88	-13.007	0.015
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-61.88	-26.426	0.039
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	7	-71.41	-24.394	0.002
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-66.41	-28.391	0.042
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-71.11	-42.295	0.017
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-46.88	-20.014	0.030
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	46.00	26.772	0.010
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	70.74	42.037	0.016
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	-1.00	-0.427	0.000
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	-1.00	-0.427	0.000
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	1.00	0.595	0.000
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-2.00	-1.189	0.000
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-33.39	-14.269	0.008
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	-34.54	-14.930	0.008
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	-23.39	-9.997	0.006
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	3	-24.14	-10.319	0.006
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-41.29	-13.319	0.017
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	124.47	50.954	0.020
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-46.64	-15.046	0.020
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	7	37.29	15.265	0.006
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	180.51	107.266	0.042
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-0.18	-0.058	0.000
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	187.86	76.901	0.030
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	8	-65.83	-28.134	0.027
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	7	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	-39.81	-17.071	0.016 DE C. M.
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-84.18	-25.973	0.034
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	1	0.0	0.0	0.0
1	5	L	2.5X1/3	2.46	161.97	103.25	2	165.206	9	-84.53	-36.125	0.034

Line	Code	Description	Rate	Quantity	Amount	Unit	Rate	Quantity	Amount	Unit	Rate	Quantity	Amount	Unit
1	1	1.5X1/3	2.46	134.82	117.82	2	188.513	1	188.513	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.87	248.04	181.12	2	188.513	1	188.513	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	184.82	117.82	2	188.513	1	188.513	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	184.82	117.82	2	188.513	1	188.513	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	157.04	100.12	2	160.184	1	160.184	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	157.04	100.12	2	160.184	1	160.184	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	157.04	100.12	2	160.184	1	160.184	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	157.04	100.12	2	160.184	1	160.184	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	13	1.5X1/3	2.46	175.60	112.63	2	223.009	1	223.009	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	13	1.5X1/3	2.46	175.60	112.63	2	223.009	1	223.009	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	293.43	190.61	2	223.009	1	223.009	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	293.43	190.61	2	223.009	1	223.009	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	167.50	72.53	2	169.729	1	169.729	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	167.50	72.53	2	169.729	1	169.729	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	167.50	72.53	2	169.729	1	169.729	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	167.50	72.53	2	169.729	1	169.729	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	167.50	72.53	2	169.729	1	169.729	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	185.88	80.49	2	188.353	1	188.353	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	185.88	80.49	2	188.353	1	188.353	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	185.88	80.49	2	188.353	1	188.353	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	152.16	64.67	2	206.940	1	206.940	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	1	1.5X1/3	1.82	204.22	88.44	2	206.940	1	206.940	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	152.16	64.67	2	206.940	1	206.940	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	5	1.5X1/3	2.46	152.16	64.67	2	206.940	1	206.940	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	124.17	51.95	2	248.334	1	248.334	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	124.17	51.95	2	248.334	1	248.334	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	124.17	51.95	2	248.334	1	248.334	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	124.17	51.95	2	248.334	1	248.334	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	124.17	51.95	2	248.334	1	248.334	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	132.90	55.61	2	265.793	1	265.793	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	132.90	55.61	2	265.793	1	265.793	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	132.90	55.61	2	265.793	1	265.793	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	132.90	55.61	2	265.793	1	265.793	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	141.94	59.39	2	282.884	1	282.884	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	19	1.5X1/3	2.46	141.94	59.39	2	282.884	1	282.884	0.00	0.00	0.00	0.00	

TELEFONOS DE MEXICO, S.A. DE C.V.

14	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
16	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
17	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
18	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
19	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
20	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
21	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
22	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
23	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
24	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
25	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
26	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
27	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
28	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
29	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
30	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
31	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
32	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
33	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
34	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
35	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
36	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
37	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
38	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
39	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
40	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
41	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
42	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
43	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
44	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
45	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
46	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
47	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
48	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
49	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
50	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000



TELEINFORMATICA DE MEXICO, S. A.

01	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
02	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
03	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
04	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
05	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
06	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
07	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
08	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
09	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
10	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000

REACCIONES DE APOYOS SE REFIEREN A ESTADOS DE CARGA

ESTADO DE CARGA NO. 1

NO. DE APOYO	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	4077.376281	-5947.425781	-39971.195313
155	-377.525929	-5946.747406	-39975.269531
156	-4661.535183	-6531.519156	49690.195313
157	4661.535183	-6526.167183	45620.558594

ESTADO DE CARGA NO. 2

NO. DE APOYO	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	2384.268846	-4168.914063	-25423.121094
155	1230.711727	-4163.550781	-29657.378604
156	-2424.160340	-5211.269591	35546.500000
157	2424.160340	-4823.328031	30937.205125

ESTADO DE CARGA NO. 3

NO. DE APOYO	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	1732.945259	-3746.255322	-25319.378594
155	-1030.425781	-4613.649219	-29780.266875
156	-3024.481127	-4778.281250	35439.312500
157	3024.481127	-4751.386719	31096.343750

ESTADO DE CARGA NO. 4

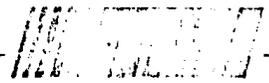
NO. DE APOYO	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	1351.203613	-3665.984619	-19912.621094
155	-3908.806629	-3954.675049	-31617.046875
156	1267.001180	-5700.500313	37685.199219
157	1132.002105	-2307.652763	25278.925761

ESTADO DE CARGA NO. 5

NO. DE APOYO	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	1013.419709	-2154.492047	-19752.378906
155	-331.425781	-4553.187500	-31776.647656
156	-386.714963	-5170.375000	37544.992188
157	3529.511189	-2937.495322	25419.289063

ESTADO DE CARGA NO. 6

NO. DE APOYO	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	2544.445513	-2731.653076	-19608.042569
155	-3710.713321	-5211.497188	-31324.750000
156	1132.001180	-4811.700313	37567.193594
157	1950.690348	-4368.640625	25575.171094



	FUERZA Y	FUERZA Z
154	-3800.424216	-38236.880469
155	-3800.424216	-38096.667969
156	-3800.424216	38246.336719
157	-3800.424216	38105.046875

CARGA NO.	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	-3800.424216	5721.277344	56632.027344
155	-3800.424216	-5718.122700	-55330.017344
156	-3800.424216	5711.914169	36001.571313
157	-3800.424216	5714.457131	-55999.271875

CARGA NO.	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	-3800.424216	5727.109275	-61664.023438 ←
155	-3800.424216	-9125.550781	-61563.531719 ←
156	-3800.424216	5713.451725	67395.427500 ←
157	-3800.424216	5710.390625	67282.062500

CARGA NO.	FUERZA X	FUERZA Y	FUERZA Z
154	-377.694670	365.112261	3121.942383 ✓
155	375.222801	353.712262	3099.202881 ✓
156	-378.812050	-364.024367	3116.678711 ✓
157	379.535086	-364.566927	3107.675295

REACCIONES NIVEL #8

$$\text{Nudo 156} \quad 3117 (111) = \begin{matrix} 3,429 \\ 67,399 \\ \hline 70,828 \end{matrix} \quad V_x = 7,292$$

$$\text{Nudo 154} \quad 3122 (111) = \begin{matrix} +3434 \\ -61,664 \\ \hline 58,230 \end{matrix} \quad V_y = 10,112$$

REACCIONES NIVEL #12 (+10%)

FIN C. 77,911
 T. 64,053

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		1	2	3	4	5	6	7	8
NUMERACION TOPOLOGICO		1-4	5-8	9-12	13-16	17-20	21-24	25-28	29-32
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	9	9	9	9	9	9	9
	COMPRESION	9	9	9	9	9	9	9	9
CARGAS MAXIMAS	TENSION	8961	5511	7492	5477	7545	4523	12574	11833
	COMPRESION	8933	7457	5490	7537	5440	5789	8050	13612
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		3	3	3	3	3	2	4	4
DIAMETRO DEL TORNILLO		58	58	58	58	58	58	58	58
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		3x ³ 16	2 ¹ / ₂ x ³ 16	2 ¹ / ₂ x 4mm	2 ¹ / ₂ x ³ 16	2 ¹ / ₂ x 4mm	2 ¹ / ₂ x 4mm	2 ¹ / ₂ x ³ 16	2 ¹ / ₂ x ³ 16
TIPO DE ACERO		AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		145	145	145	145	145	145	160	169
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		145Z	145Z	145Z	145Z	145Z	145Z	145Z	160X
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		97	117	116	117	116	116	117	81
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION	20900						1600	1600
	COMPRESION	14000	8500	7300	8500	7300	7300	8500	15400
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION	43						79	74
	COMPRESION	64	88	75	89	75	79	95	88
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	73	61	61	61	61	71	77	83
	APLASTAMIENTO	78	65	65	65	65	75	82	89

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		9	10	11	12	13	14	15	16
NUMERACION TOPOLOGICO		33-36	37-40	41-44	45-48	49-52	53-54	55-58	59-62
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	8	5	9	9	9	5	9	9
	COMPRESION	3	5	9	9	9	5	9	9
CARGAS MAXIMAS	TENSION	5198	6276	10794	14360	9199	2691	6983	13893
	COMPRESION	5880	3714	10193	16006	13481	2063	4113	8849
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		2	4						
DIAMETRO DEL TORNILLO		⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		2 ¹ / ₂ x ³ 16	3 x ³ 16	2 ¹ / ₂ x ³ 16	2 ¹ / ₂ x ³ 16	3 x ³ 16			
TIPO DE ACERO		AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		169	146	147	147	173	146	146	147
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		170Z	145Z	145Z	145X	175X	145Z	145Z	145Z
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		137	97	97	61	73	117	117	117
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION				22100	22100	17200	17200	17200
	COMPRESION	6200	14000	14000	18950	17500	8500	8500	14000
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION				65	42		41	81
	COMPRESION	95	27	73	84	77	24	48	63
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	72		66	98	82			85
	APLASTAMIENTO	77		57	84	71			73

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		17	18	19	20	21	22	23	24
NUMERACION TOPOLOGICO		63-44	67-70	71-72	73-76	77-80	81-84	85-86	87-90
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	6	5	9	5	9	9	9
	COMPRESION	9	8	5	5	9	5	9	9
CARGAS MAXIMAS	TENSION	19693	9435	1056	1185	1373	1193	3157	2909
	COMPRESION	13001	2957	1110	1369	1184	1375	2526	3593
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		5	3	1	1	1	1	1	1
DIAMETRO DEL TORNILLO		58	58	58	58	58	58	58	58
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		3 x 316	3 x 316	JL2x4mm	1½ x4mm	1½x 4mm	1½ x4mm	1½x 4mm	2 x 4mm
TIPO DE ACERO		AR	AR	STD	STD	STD	STD	STD	STD
LONGITUD REAL (cm.)		147	214	110	183	184	184	110	205
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		147Z	215Z	110X	90Z	90Z	90Z	110Z	205X
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		97	143		120	157	120	147	130
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION	22100	22100						
	COMPRESION	14000	6850		3900	2250	3900	2600	4550
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION	89	43						
	COMPRESION	93	43		35	53	35	97	79
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	96	77	27	33	33	34	77	88
	APLASTAMIENTO	83	82	46	57	57	57	66	75

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		25	26	27	28	29	30	31	32
NUMERACION TOPOLOGICO		91-92	93-94	95-96	97-100	101-102	103-112	113-116	117-120
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	9	9	9	2	9	9	9
	COMPRESION	8	9	9	9		9	9	9
CARGAS MAXIMAS	TENSION	1526	503	869	2558	1367	1476	3868	1128
	COMPRESION	12	474	830	1833		1495	1819	2265
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		1	1	1	1	1	1	1	1
DIAMETRO DEL TORNILLO		8	8	8	8	8	8	8	8
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		1 $\frac{1}{2}$ x 4mm	1 $\frac{1}{2}$ x 4mm	2 x 4mm	2 x 4mm	1 $\frac{1}{2}$ x 4mm	1 $\frac{1}{2}$ x 4mm	2 x 4mm	1 $\frac{1}{2}$ x 4mm
TIPO DE ACERO		STD	STD	STD	STD	STD	STD	STD	STD
LONGITUD REAL (cm.)		110	183	183	184	241	110	155	182
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		110Z	115X	185Z	185Z	24DZ	110Z	155Z	180X
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		147	120	183	183	320	147	153	114
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION	3600			6200	5400		7900	
	COMPRESION	2600	3900	2250	2250		2600	3250	2400
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION	42			41	25		49	
	COMPRESION			37	81		58	56	94
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	37	12	21	62	33	36	94	55
	APLASTAMIENTO	64		36	53	57	62	81	94

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		33	34	35	36	37		38	
NUMERACION TOPOLOGICO		121-124	125-128	129-132	133-136	137-140	141-144	145-148	149-152
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	9	8	9	8	9	9	9
	COMPRESION	9	9	6	8	8	9	9	9
CARGAS MAXIMAS	TENSION	2920	2520	1692	3606	4896	16316	16988	16162
	COMPRESION	2994	5374	2016	3017	4978	13801	14395	13946
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		1	2	1	1	3	5	5	5
DIAMETRO DEL TORNILLO		5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		2x4 mm	2 x ³ 16	1 1/2 x ³ 16	2 1/2 x 4mm	2 1/2 x 4mm	3 x ³ 16	3 x ³ 16	3 x ³ 16
TIPO DE ACERO		STD	STD	STD	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		182	194	202	575	409	119	120	119
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		185X	195X	200X	190Z	135Z	120Z	120Z	120Z
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		117	124	171	152	108	80	80	80
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION						20900	20900	20900
	COMPRESION	5500	5950	2300	4200	8300	16600	16600	16600
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION						78	81	77
	COMPRESION	54	90	88	72	60	83	87	84
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	73	66	49	88	61	80	83	80
	APLASTAMIENTO	62	93	70	63	86	88	91	87

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO			39			40		41	
NUMERACION TOPOLOGICO		153-156	157-160	161-164	165-168	169-172	173-176	177-180	181-184
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	9	9	9	9	9	8	8
	COMPRESION	9	9	9	9	9	9	9	9
CARGAS MAXIMAS	TENSION	19674	20402	19960	20421	18272	8122	11395	13736
	COMPRESION	22554	23111	22725	23061	21177	16044	17340	18102
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		6	6	6	6	6	5	5	5
DIAMETRO DEL TORNILLO									
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		3 $\frac{1}{2}$ x '4	3 $\frac{1}{2}$ x $\frac{1}{4}$	3 x $\frac{1}{4}$	3 x $\frac{1}{4}$	3 x $\frac{1}{4}$			
TIPO DE ACERO		AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		157	157	157	157	213	132	133	132
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		157Z	157Z	157Z	157Z	215X	130Z	135Z	130Z
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		90	90	90	90	78	87	90	87
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION								
	COMPRESION	25240	25240	25240	25240	28900	23200	22100	23200
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION								
	COMPRESION	89	92	90	91	73	69	78	78
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	92	94	92	94	86	78	85	88
	APLASTAMIENTO	97	100	98	99	91	86	93	97

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		41		42		43	44	45	46
NUMERACION TOPOLOGICO		185-188	189-192	193-196	197-200	241-244	245-248	249-252	253-256
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	9	9	9	9	8	9	8
	COMPRESION	9	9	9	9	8	9	8	8
CARGAS MAXIMAS	TENSION	20020	20347	19718	19754	928	560	609	2105
	COMPRESION	25031	25713	25215	25528	736	735	455	2056
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		7	7	7	7	1	1	1	1
DIAMETRO DEL TORNILLO		58							
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		4 x 1/4	4 x 1/4	4 x 1/4	4x 1/4	1 1/4 x 4mm			
TIPO DE ACERO		AR	AR	AR	AR	STD	STD	STD	STD
LONGITUD REAL (cm.)		165	167	166	167	170	188	207	248
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		165Z	167Z	165Z	167Z	120X	190X	130X	
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		82	83	82	83	120	162	140	196
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION								6500
	COMPRESION	28300	28060	28300	28060	3900	2100	2900	2200
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION								32
	COMPRESION	88	92	89	91	19	35	16	93
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	87	90	88	89	23	18	15	51
	APLASTAMIENTO	87	90	88	89	39	31	25	73

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		47	48	49	50	51	52	53	54
NUMERACION TOPOLOGICO		257-260	261-264	265-268	269-272	273-276	277-280	281-284	285-288
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	8	8	8	9	6	4	6	9
	COMPRESION	8	8	8	9	4	6	4	6
CARGAS MAXIMAS	TENSION	1773	1594	1389	3270	3052	2447	1871	677
	COMPRESION	1815	1561	1427	3147	3189	2342	1969	827
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		1	1	1	1	1	1	1	1
DIAMETRO DEL TORNILLO									
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		1 1/2 x 3 16	2 x 4mm	2 x 4mm	2 1/2 x 3 16	1 1/2 x 4 mm			
TIPO DE ACERO		STD	STD	STD	AR	STD	STD	STD	STD
LONGITUD REAL (cm.)		266	284	302	356	179	197	215	256
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		140Z	155Z	160Z	355X	100Z	105Z	115Z	140Z
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		182	153	158	179	133	140	153	187
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION								
	COMPRESION	2050	3250	3000	3600	3200	2900	2400	1600
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION								
	COMPRESION	89	48	48	87	100	81	82	52
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	44	39	35	80	78	60	48	20
	APLASTAMIENTO	63	66	58	57	55	51	82	34

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		55	56	57	58	59	60	61	62
NUMERACION TOPOLOGICO		289-292	293-296	297-300	303-306	317-310	311-314	315-318	319-322
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	6	4	6	4	8	9	9	9
	COMPRESION	4	6	6	8	4	9	9	9
CARGAS MAXIMAS	TENSION	568	394	416	7423	2999	34202	36873	39922
	COMPRESION	471	484	347	1914	9476	41467	44828	47929
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		1	1	1	2	3	6	6	6
DIAMETRO DEL TORNILLO					58	58	58	58	58
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		2 x 4mm	2 x 4mm	2 x 4mm	2 1/2 X 4mm	2 1/2 x 3 16	4 x 5 16	4 x 5 16	4 x 5 16
TIPO DE ACERO		STD	STD	STD	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		280	304	330	305	391	274	318	364
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		150Z	245X	175Z	155Z	130Z	137Z	105Z	120Z
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		152	155	180	124	105	68	52	60
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION				14500				
	COMPRESION	3300	3200	2350	6350	10600	47100	52850	50400
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION				51				
	COMPRESION	14	15	15	30	89	88	85	95
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	14	12	10	91	77	84	91	98
	APLASTAMIENTO	24			86	82	73	79	84

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		63	64	65	66	67	68	70	71
NUMERACION TOPOLOGICO		323-326	327-330	331-334	335-338	339-342	343-346	351-358	359-366
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	9	9	9	9	9	6	6
	COMPRESION	9	9	9	9	9	9	6	4
CARGAS MAXIMAS	TENSION	42421	45171	47764	49130	53372	49282	4608	3727
	COMPRESION	51220	54212	57629	59359	64728	60951	4428	3448
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		8	8	8	8	8	8	2	1
DIAMETRO DEL TORNILLO		5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		4 x 3/8	4 x 3/8	4 x 7/16	4 x 7/16	4 x 7/16	4 x 7/16	2 1/2 x 4mm	2 1/2 x 4mm
TIPO DE ACERO		AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		404	404	404	404	404	172	426	501
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		135Z	135Z	135Z	135Z	135Z	170X	245X	280X
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		67	67	68	68	68	54	124	141
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION								
	COMPRESION	56250	56250	65600	65600	65600	72800	6350	4900
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION								
	COMPRESION	19	96	88	90	99	84	70	70
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	78	83	88	91	99	93	54	91
	APLASTAMIENTO	68	71	76	78	85	80	77	97

6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE									
NUMERACION CUERPO BASICO		72	73	74	75	76	77	78	79
NUMERACION TOPOLOGICO		367-374	375-382	383-390	391-398	516-523	399-406	407-414	301-302
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	4	8	8	8	8	8	8	4
	COMPRESION	6	8	9	8	8	8	8	4
CARGAS MAXIMAS	TENSION	2831	3397	2730	4584	3749	5159	4368	1842
	COMPRESION	3123	3450	2755	4626	3761	5377	4251	1615
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		1	1	1	2	1	2	2	1
DIAMETRO DEL TORNILLO		⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8	⁵ 8
TIPO DE CONEXION									
PERFIL DEFINITIVO		2 ¹ / ₂ x 4mm	3 x ³ 16	3 x ³ 16	3 ¹ / ₂ x ³ 16	3 x ³ 16	4 x ¹ / ₂	4 x ¹ / ₂	2 ¹ / ₂ x 4mm
TIPO DE ACERO		AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		583	668	735	805	738	574	574	424
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		340X	370X	400X	430X	370X	575X	575X	210Z
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		172	155	167	155	155	181	181	168
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION								
	COMPRESION	3300	5900	5000	7000	5900	7733	7733	3400
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION								
	COMPRESION	95	58	55	66	64	70	55	48
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	76	84	67	56	92	66	53	45
	APLASTAMIENTO	81	90	72	80	98	93	76	64

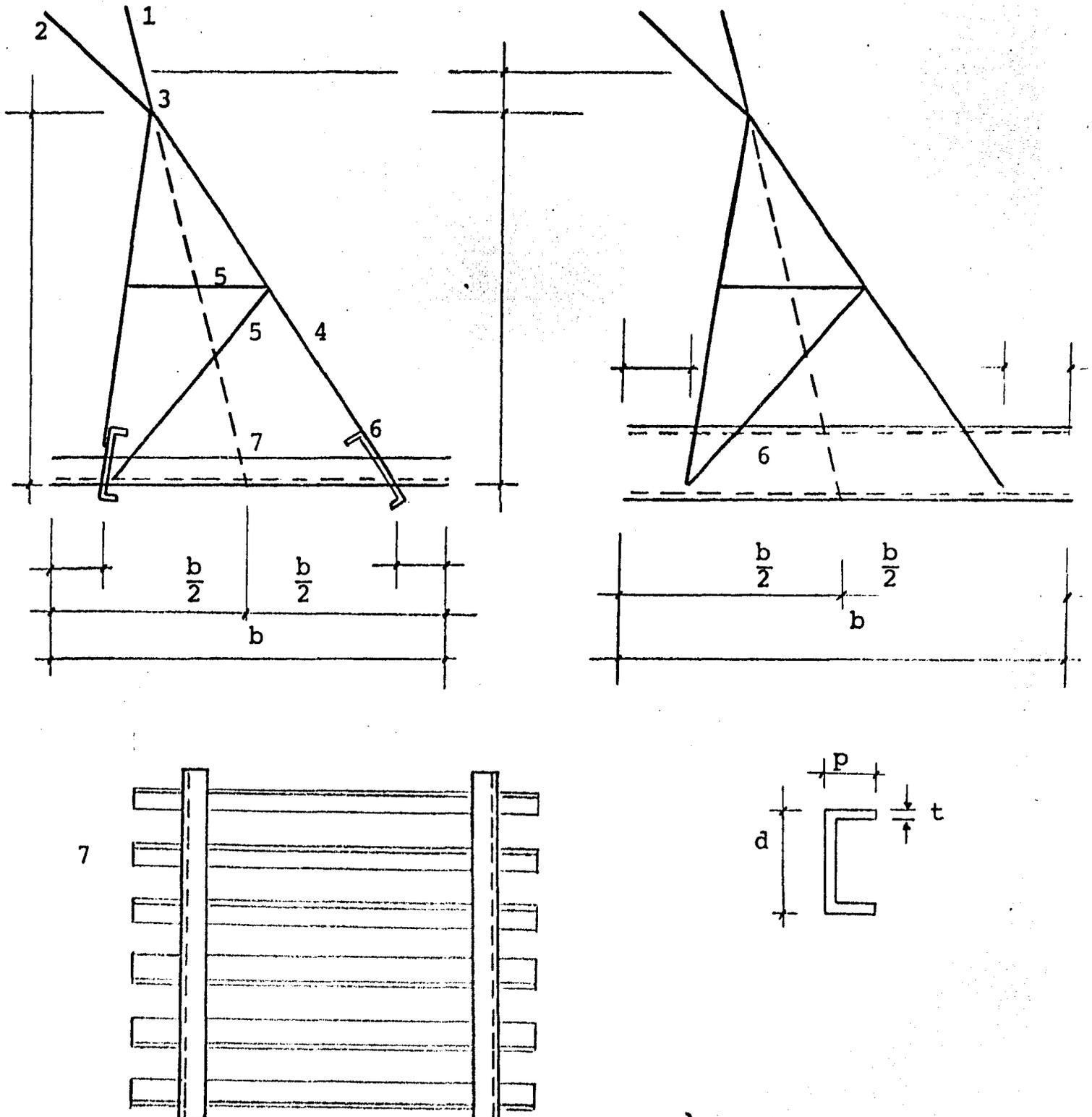
6.5).

TABLA DE CARGAS Y DISEÑO DEFINITIVO

PARTE DE LA TORRE								
NUMERACION CUERPO BASICO		80	81	82	83	84	69	85
NUMERACION TOPOLOGICO		512-515	415-430	431-438	439-446	455-462	347-350	463-470
CASO DE CARGA QUE RIGE	TENSION	9	8	9	8	7	9	8
	COMPRESION	9	8	9	8	8	9	8
CARGAS MAXIMAS	TENSION	1244	10197	109	8337	14781	49184	16216
	COMPRESION	2339	10252	164	8060	14926	61110	16727
NUMERO MINIMO DE TORNILLO		1	3	1	3	4	8	5
DIAMETRO DEL TORNILLO		8	8	8	8	8	8	8
TIPO DE CONEXION								
PERFIL DEFINITIVO		3 x 3/16	3 1/2 x 1/4	2 1/2 x 4mm	3 x 3/16	3 1/2 x 1/4	4 x 7/16	3 x 1/4
TIPO DE ACERO		AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
LONGITUD REAL (cm.)		300	902	223	268	299	808	860
LONGITUD DE DISEÑO L (cm.)		300Z	225Z	225Z	270X	300X	135Z	145Z
RELACION DE ESBELTEZ (L/r)		200	129	180	113	108	68	97
CAPACIDAD DEL MIEMBRO EN	TENSION							
	COMPRESION	3500	13200	3000	11000	18700	65600	19800
% DE TRABAJO DEL PERFIL	TENSION							
	COMPRESION	67	78	5	73	80	93	84
% DE TRABAJO CONEXION	CORTANTE	57	83	4	68	91	93	82
	APLASTAMIENTO	81	89		96	97	81	87

6.6). . Cálculo de Cimiento de Acero.

El cimiento de acero más común en Torres de Transmisión esta estructurado de la siguiente forma:



En donde:

- 1.- Pata de la torre.
- 2.- Diagonal de la extensión.
- 3.- Angulo de unión.
- 4.- Patitas del cimiento.
- 5.- Redundante.
- 6.- Canal.
- 7.- Travesaños.

El cimiento de acero es una pirámide cuadrangular, formada por cuatro ángulos llamados "patitas". En las aristas de la pirámide tenemos dos canales paralelos y atravesados por ángulos en dirección perpendicular que se llaman travesaños. Estos y los canales conforman la base de la pirámide. El cimiento es aislado y se coloca en cada pata de la torre.

6.6.1) Fuerzas que actúan sobre las sobre las fundaciones a cimientos.

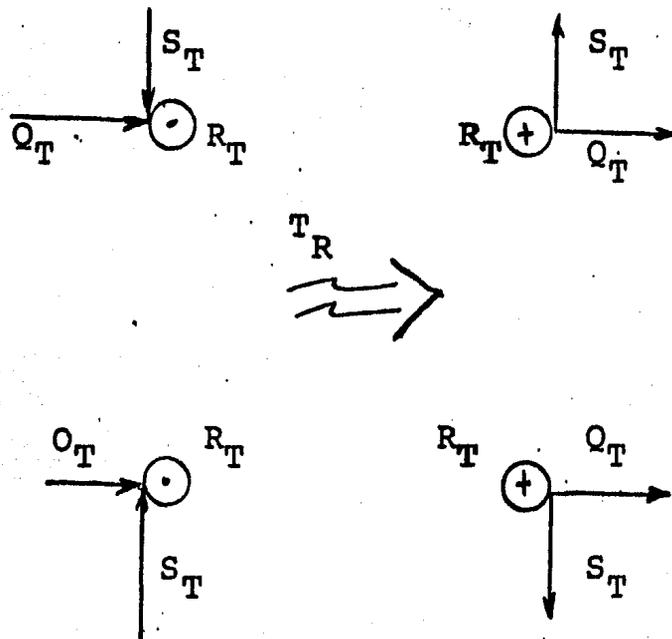
A). Viento transversal en torres y cables.

$$\text{Momentos } R_T = \frac{\Sigma \text{ Mom. Transv.}}{2 \text{ ancho base}} = -\frac{\Sigma M_T}{2B}$$

Coceo $S_T = R_T \times \tan \beta$ (Tienden a separarse las patas a compresión y a unirse cuando están a tensión).

$$\text{Cortante } Q_T = \frac{\sum \text{Fuerzas Transv.}}{4} = \frac{\sum F_T}{4}$$

Nota β en el ángulo de inclinación del cuerpo de la torre con la vertical.

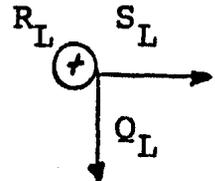
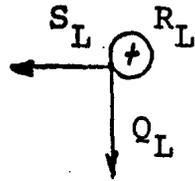
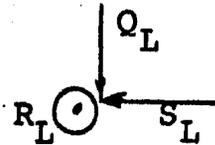
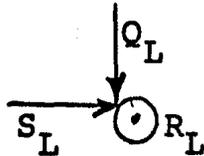


B). Cargas longitudinales.

$$\text{Momentos } R_L = \frac{\sum \text{Momentos Longitudinales}}{2 \times \text{ancho base}} = \frac{\sum ML}{2B}$$

Coceo $S_L = R_L \times \text{Tan } \beta .$

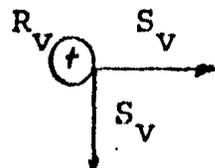
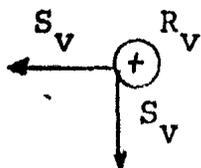
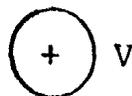
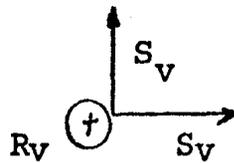
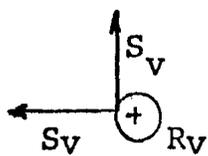
Cortantes $Q_L = \frac{\sum \text{Fuerzas longitudinales}}{4} = \frac{\sum F_L}{4}$



C). Carga vertical y Peso Propio.

$$R_V = \frac{V}{4}$$

$$S_V = R_V \tan \beta.$$



D). Suma de los casos A, B y C.

$$T \text{ max.} = R_T + R_L - R_V \quad (\text{Tensión})$$

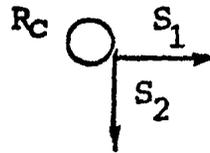
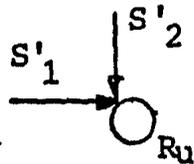
$$C \text{ max.} = R_T + R_L + R_V \quad (\text{Compresión})$$

$$S_1 = Q_T + S_L + S_V \quad (\text{Cortante transv. pata compresión}).$$

$$S_2 = S_T + Q_L + S_V \quad (\text{Cortante long. pata compresión})$$

$$S'_1 = Q_T + S_L - S_V \quad (\text{Cortante transv. pata Tensión})$$

$$S'_2 = S_T + Q_L - S_V \quad (\text{Cortante long. pata tensión}).$$



Las expresiones mostradas indican magnitud y los vectores de las figuras indican dirección asumida.

E). Torsión.- (Dado que el ángulo β es constante e idéntico para ambas proyecciones del cuerpo, es decir una torre de cuerpo cuadrado, - tenemos.

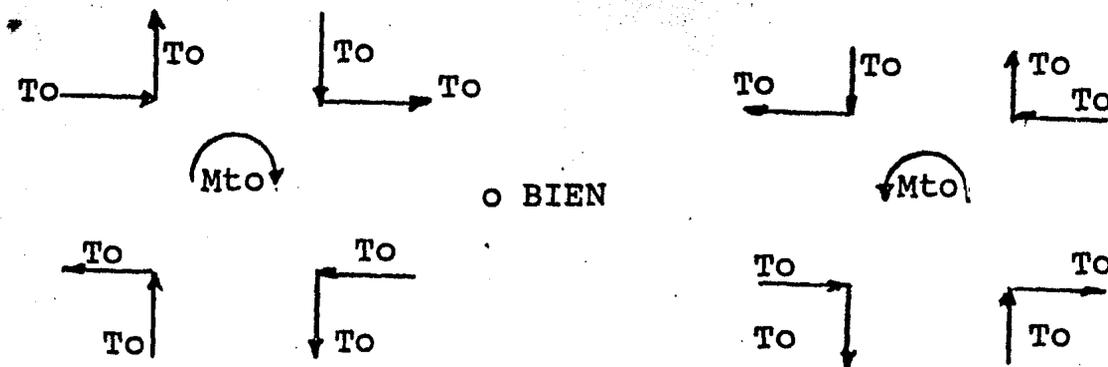
$$T_o = \frac{\sum \text{Momentos de torsión}}{2 \times 2 \times \text{Ancho base}} = \frac{\sum M T_o}{4B}$$

o también

$$T_o = \frac{\Sigma \text{ Fuerza de corte de torsión en la cintura}}{2} \times \frac{\text{Ancho cintura}}{\text{Ancho base}}$$

$$T_o = \frac{\Sigma F_{To}}{2} \times \frac{bc}{B}$$

Como la torsión puede cambiar de signo



Nota.- La torsión en una torre cuadrada de celosías iguales y de tipo tensión-compresión no produce reacciones verticales.

F). Suma total del caso D más E

Si $S_1 > S_2$ (para pata en compresión)

Entonces sumar $\curvearrowright +$ M_{To}

$$S_1 + T_o = V_x \quad \text{y} \quad S_2 - T_o = V_y \quad \curvearrowright +$$

En caso contrario sumar $\curvearrowleft +$ M_{To}

$$\text{Si } S_1 - T_o = V_x \quad \text{y} \quad S_2 + T_o = V_y \quad \curvearrowleft +$$

En forma similar

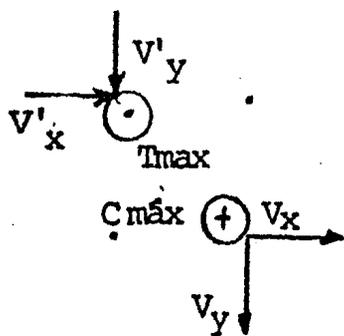
Si $S'_1 > S'_2$ (Para pata en tensión).

Entonces sumar $\curvearrowright + M_{To}$

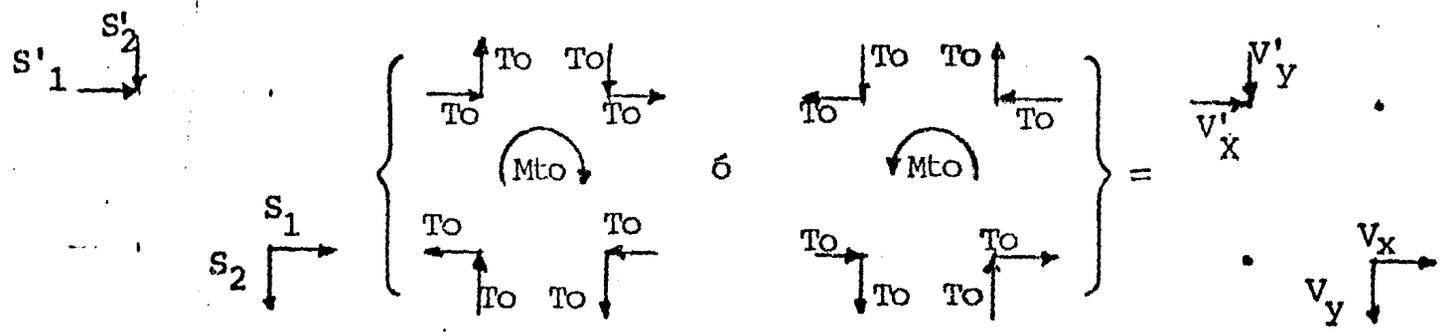
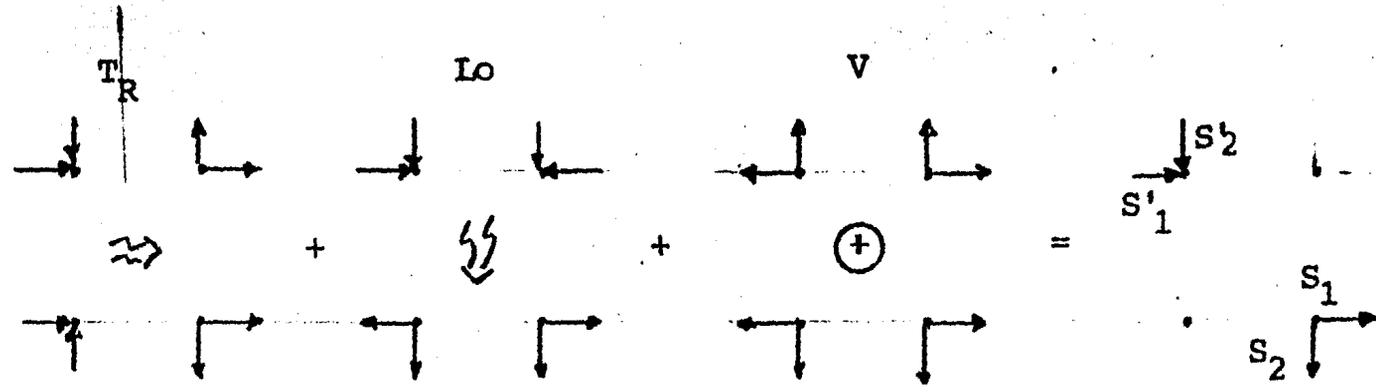
$$S'_1 + T_o = V'_x \text{ y } S'_2 - T_o = V'_y \quad \curvearrowright +$$

En forma similar $\curvearrowright + M_{To}$

$$S'_1 - T_o = V'_x \text{ y } S'_2 + T_o = V'_y \quad \curvearrowright +$$



Resumen fuerzas de corte



Como muestra la figura la combinación de fuerzas de corte debido a cargas transversales longitudinales y verticales no ofrece problema.

Pero antes de combinar dichos totales con las fuerzas de corte producidas por la torsión es necesario decidir si $S_1 > S_2$ o $S'_1 > S'_2$

Esto permite determinar que combinación produce la resultante de corte máxima.

Tenemos así que si $S_1 > S_2$, entonces la resultante es :

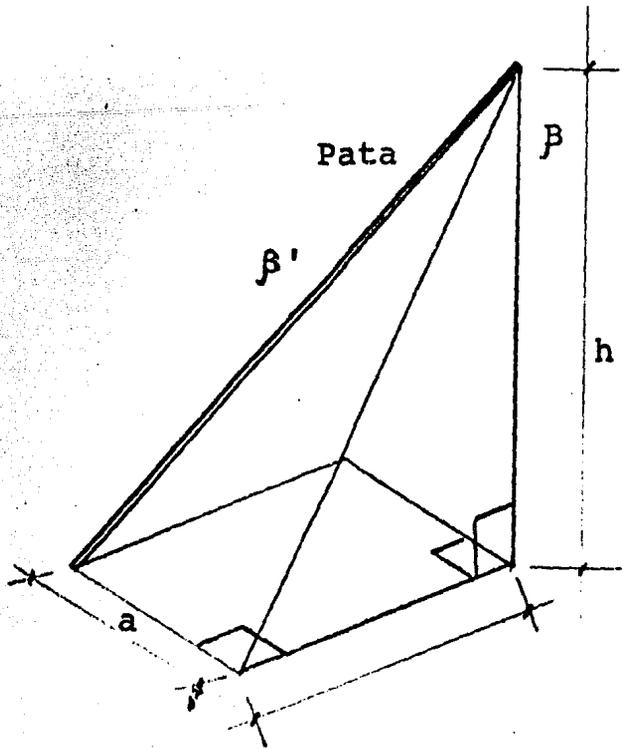
$$R = \sqrt{(S_1 + T_o)^2 + (S_2 - T_o)^2}$$

que indudablemente es mayor que si

$$R = \sqrt{(S_1 - T_o)^2 + (S_2 + T_o)^2}$$

Igualmente los resultantes máximos en las patas de compresión y de tensión no se producen simultáneamente con torsión en el mismo sentido sino con torsiones de signo contrario respectivamente.

Ahora se requiere descomponer las reacciones en dos fuerzas ortogonales horizontales y una fuerza en dirección de la pata de la torre, esto a fin de centrar la base del cimiento en la proyección de la pata evitando así las excentricidades, tenemos:



$$\tan \beta = \frac{a}{h}$$

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta}}$$

$$\tan \beta' = \frac{a\sqrt{2}}{h} = \tan \beta \sqrt{2}$$

$$\cos \beta' = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \beta'}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \tan^2 \beta}}$$

∴ La fuerza en dirección de la pata \bar{U} , será :

$$\bar{T} = T \max. \frac{1}{\cos \beta'} = t \max \quad 1 + 2 \tan^2 \beta \quad (\text{Tensión})$$

$$\bar{C} = C \max. \frac{1}{\cos \beta'} = C \max \quad 1 + 2 \tan^2 \beta \quad (\text{Compresión})$$

Donde;

T_{\max} = Fuerza de tensión máxima.

\bar{T} = Fuerza de tensión proyectada a la pata

C = Fuerza de compresión máxima.

\bar{C} = Fuerza de compresión proyectada a la pata.

A las fuerzas cortantes S_{AT} , $S_{AL'}$, S_{BT} y S_{BL} habrá que restarles el valor $C \tan \beta$ y $U \tan \beta$ respectivamente para obtener los valores \bar{S}_T , \bar{S}_L , \bar{S}'_r y \bar{S}'_l .

6.6.2) a). Datos del Proyecto.

Del análisis se han obtenido los elementos mecánicos para el cálculo del cimiento. El factor de seguridad es 1.1.

$$C \text{ max} = 70828 \times 1.1 = 77911 \text{ Kg. (compresión).}$$

$$T \text{ max} = 58230 \times 1.1 = 64053 \text{ " (tensión).}$$

$$V_x = 7292 \times 1.1 = 8021 \text{ " (Cte en X).}$$

$$V_y = 10112 \times 1.1 = 11123 \text{ " (Cte en y).}$$

El peso volumétrico del terreno es:

$$\gamma = 1600 \text{ Kg/m}^3.$$

La capacidad del terreno para la cual se calcula es cimiento σ_p es:

$$\sigma_p = 2.0 \text{ T/cm}^2.$$

b). Dimensiones de la zapata.

Area de la zapata.

$$A = \frac{\text{Fuerza de compresión}}{\text{Capacidad del terrano}} = \frac{C \text{ max}}{\sigma_p}$$

$$A = \frac{77911}{20000} = 3.896 \text{ m}^3.$$

El lado de la zapata.

$$b = \sqrt{A}$$

$$b = \sqrt{3.896}$$

$$b = 1.974 \text{ m}$$

$$b = 2.0 \text{ m.}$$

b.1) ARRANCAMIENTO.

Hipótesis Básica.- La fuerza de tensión es con\alpha con la vertical. Este ángulo depende de la calidad del terreno y varía entre 20° y 30° Generalmente no se consideran los 30 cm., de tierra debajo del nivel del terreno por razones de erosión, etc. Además siempre se especifica

un factor de seguridad F.S contra el arranca-
miento.

El volumen de terreno de la pirámide
(V_p), es :

$$V_p = b^2 h + 2 b h^2 \tan \alpha + \frac{\pi h^3}{3} \tan^2$$

b.2) Profundidad de desplante.

La profundidad de desplante considerando el co-
noide con orillas redondeadas según el Bureau
of Reclamation y para una inclinación de 30° , -
esta dada por la siguiente expresión:

$$h^3 + 3.308 b h^2 + 2.865 b^2 h - \frac{t \max}{558.5} = 0$$

y el volumen y peso necesarios de terreno, son:

$$V_n = \frac{t \max}{\gamma} ; \quad W_n = t \max.$$

donde:

h = profundidad de desplante menos 30cm (m).

b = lado de la zapara cuadrada (m).

$t \max$ = Tensión máxima (Kg.).

V_n = volumen necesario (m^3).

γ = Peso volumétrico del terreno (Kg/m^3).

W_n = Peso necesario (Kg.).

Por medio de tanteos obtenemos la profundidad ne-
cesaria, para equilibrar el peso de tierra de la
pirámide con la tensión máxima. De allí tenemos.

$$h = 2.919 \text{ m.} \quad \approx \quad 3.0 \text{ m} \quad \therefore \quad h^* = 3.30 \text{ m.}$$

$$V_n = \frac{64053}{1600} = 40.03$$

$$W_n = 64053 \text{ Kg.}$$

$$\text{Con } b = 2.0 \text{ y } h = 3.0 \text{ m.}$$

El volumen de la piramide (V_p), debe ser mayor que el volumen necesario (V_n).

$$V_p = b^2 h + 2 b h^2 \tan \alpha + \frac{\pi h^3}{3} \tan^2 \alpha$$

$$V_p = 2.0^2 (3.0) + 2(2.0)(3.0)^2 \tan 30^\circ + \frac{\pi (3.0)^3}{3} \tan^2 30^\circ =$$

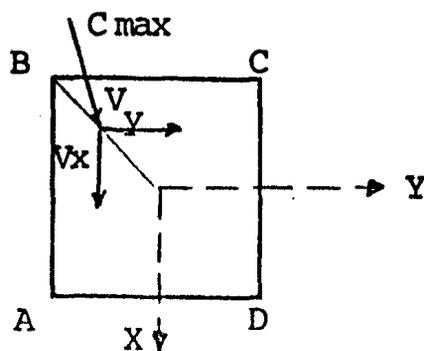
$$V_p = 42.209 \text{ m}^3 > V_n = 40.03$$

$$W_p = V_p \times 1.6$$

$$W_p = 42.209 \times 1.6 =$$

$$W_p = 67,535 \text{ kg.} > W_n = 64053 \text{ kg.}$$

c) Revisión de Presiones.



Convención de signos.

Compresión (+)

Tensión (-)

Por fórmula de la escuadría sabemos que el esfuerzo máximo esta dado por la siguiente expresión.

$$\sigma = \frac{C \max}{b^2} + \frac{6(M_x + M_y)}{b^3}$$

$$M_x = C \max \times e + V_y h$$

$$M_y = C \max \times e + V_x h$$

Si hacemos que la proyección de la carga C máx. - pase por el centro de la base de la zapata no habrá excentricidad y los momentos Mx y My serán:

$$M_x = V_y h^*$$

$$M_y = V_x h^*$$

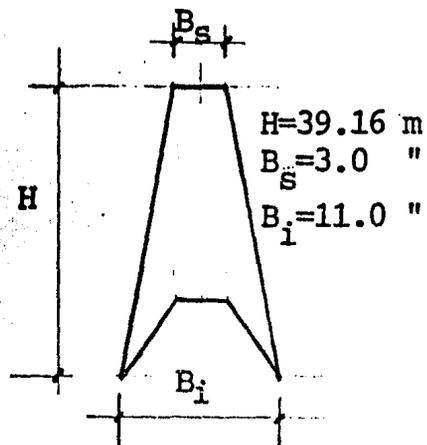
Ahora proyectando las reacciones en:

Dos fuerzas ortogonales horizontales y una fuerza en dirección de la pata de la torre.

$$\bar{T} = T_{\text{máx.}} \frac{1}{\cos \beta'} = T_{\text{máx}} \sqrt{1 + 2 \tan^2 \beta}$$

$$\bar{C} = C_{\text{máx}} \frac{1}{\cos \beta} = C_{\text{máx}} \sqrt{1 + 2 \tan^2 \beta}$$

$$\tan \beta = \frac{a}{H} \quad a = \frac{B_s - B_i}{2} = \frac{(11-3)}{2} = 4$$



$$\tan \beta = \frac{4}{39.16} = 0.102$$

$$\bar{T} = 64053 \sqrt{1 + 2(0.102)^2}$$

$$\bar{T} = 64718 \text{ Kg.}$$

$$\bar{C} = 77911 \sqrt{1 + 2(0.102)^2}$$

$$\bar{C} = 78720 \text{ Kg.}$$

$$\bar{V}_x = V_x - C \tan \beta$$

$$\bar{V}_y = V_y - C \tan \beta.$$

$$\bar{V}_x = 8021 - 77911(0.102) = 62.78 \text{ Kg.}$$

$$\bar{V}_y = 11123 - 77911(0.102) = 3164 \text{ Kg.}$$

Resumiendo:

$$\bar{C} = 78720 \text{ Kg.}$$

$$\bar{T} = 64718 \text{ Kg.}$$

$$\bar{V}_x = 62.78 \text{ Kg.}$$

$$\bar{V}_y = 3164 \text{ Kg.}$$

$$h = 3.0 \text{ m} = h^* = 3.3 \text{ m.}$$

$$b = 2.0 \text{ m.}$$

La distribución de presiones es:

$$\sigma = \frac{\bar{C}}{b^2} \pm \frac{6 (M_x + M_y)}{b^3}$$

$$M_x = \bar{V}_y h^* = 3.164 (3.3) = 10.441 \text{ t-m}$$

$$M_y = \bar{V}_x h^* = 0.06278 (3.3) = 0.207 \text{ t-m.}$$

Efecto	A	B	C	D
\bar{C}/b^2	+ 19.68	+ 19.68	+ 19.68	+ 19.68
$6 M_x/b^3$	- 7.831	- 7.831	+ 7.831	+ 7.931
$6 M_y/b^3$	+ 0.155	- 0.155	+ 0.155	+ 0.155
	12.004	11.694	27.356	27.666

Como:

$$\sigma = 27.666 > \sigma_p = 20 \text{ T/m}^2.$$

∴ Se necesita ampliar la base de la zapata.

- Se proponen $b = 2.40 \text{ m.}$ y $h = 3.15$

Regresamos a b.2 y obtenemos la profundidad de desplante, el volumen y peso de tierra.

$$V_P = 2.4^2 (3.5) + 2(2.4)(3.15)^2 \tan 30^\circ + \pi \frac{3.15^3}{3} \tan^2 \alpha =$$

$$V_P = 56.552 \text{ m}^3 > V_n = 40.03 \text{ m}^3$$

$$W_P = 56.552 (1600) =$$

$$W_P = 90,484 \text{ Kg} > W_n = 64,053 \text{ Kg.}$$

- Revisión de Presiones.

Sabemos que el punto D es el más crítico.

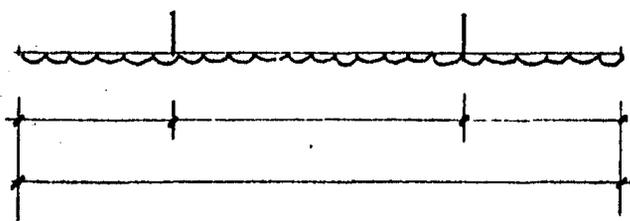
$$\sigma_{(D)} = \frac{C}{b^2} + \frac{6 V_y h^*}{b^3} + \frac{6 V_x h^*}{b^3}$$

$$\sigma_{(D)} = \frac{78.720}{(2.40)^2} + \frac{6(3.164)(3.45)}{(2.40)^3} + \frac{6(0.0628)(3.45)}{(2.40)^3}$$

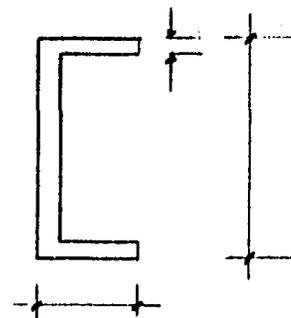
$$\sigma_{(D)} = 18.50 < \sigma_P = 20.00 \text{ T/m}^2$$

Por lo tanto se aceptan las dimensiones propuestas

D) Diseño de Canal de placa Doblada.



r = resistencia del terreno.



Se necesita localizar los apoyos de tal manera que el momento en el centro sea igual al momento de los apoyos. De la Fig.:

$$M_c = \frac{r \left(\frac{b}{2}\right) b^2 (1-2k)^2}{8} - Ma$$

$$Ma = \frac{r \left(\frac{b}{2}\right) k^2 b^2}{2}$$

M_c = Momento en el Centro

Ma = Momento en los apoyos

Para un diseño óptimo se deberá cumplir que $M_c = Ma$.

$$\frac{r \left(\frac{b}{2}\right) b^2 (1-2k)^2}{8} - Ma = Ma$$

$$\frac{r b^3 (1-2k)^2}{16} = 2Ma$$

$$r b^3 (1-2k)^2 = 32 \frac{r b^3 k^2}{4}$$

$$(1-2k)^2 = 8k^2$$

$$k(\sqrt{8} + 2) = 1$$

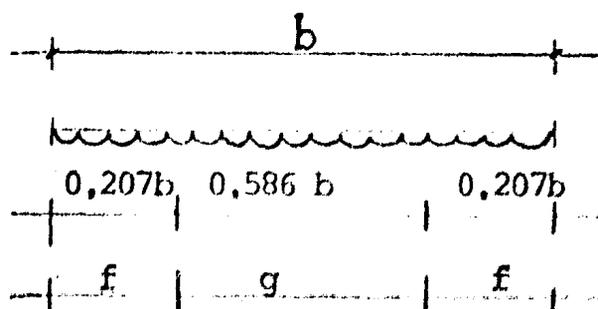
$$k - \frac{1}{\sqrt{8}+2} = \frac{\sqrt{2}-1}{2}$$

$$k = 0.2071068$$

$$1-2k = 1 - 2(0.2071068)$$

$$(1-2k) = 0.586$$

para $b = 2.4$



$$f = 49.68 \text{ cm.}$$

$$g = 140.64 \text{ cm.}$$

$$f_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$$

La carga uniformemente repartida es por apoyo.

$$W = \frac{\sigma \times b}{2} = \frac{2.0 \times 240}{2} = 240 \text{ kg/cm.}$$

El momento:

$$M = \frac{W (0.207b)^2}{2} = \frac{230 [(0.207) (240)]^2}{2} =$$

$$M = 296172 \text{ kg - cm.}$$

El módulo de sección necesario es

$$S_n = \frac{M}{f_y} = \frac{296172}{2530} = 117.06 \text{ cm}^3$$

Se propone canal de [8" x 3" x 4"]

Cuyo módulo de sección es $S = 125.3 \text{ cm}^3$

E) Diseño de Travesaños de Perfil Angular. AR.

Generalmente se pide una superficie de contacto mí-

nimo = $\frac{b}{3}$ cubierto de ángulo.

$$\frac{b}{3} = \frac{240}{3} = 80.00 \text{ cm.}$$

Se propone ángulo de 4" AR.

$$N^{\circ} \text{ de ángulos} = \frac{80}{10.16} = 7.87$$

∴ usar 8 ángulos de 4" AR.

La carga uniforme por ángulo es

$$W = \frac{2 \times 240}{8} = 60.0 \text{ kg/cm}$$

El momento:

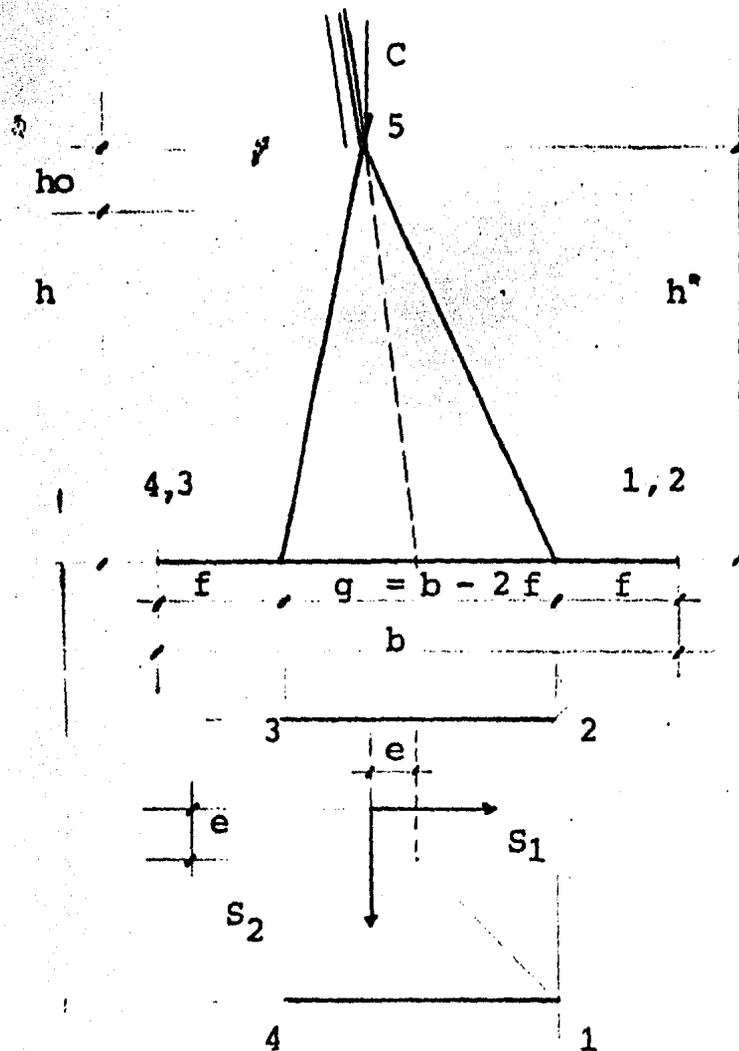
$$M = \frac{60 (0.207 \times 240)^2}{2} = 74043 \text{ Kg. - cm}$$

La sección necesaria

$$S = \frac{74043}{4000} = 18.51 \text{ cm}^3$$

Colocar 8 ángulos de 4" x 5¹⁶ cuyo módulo de sección es $S = 21.1$

F) Patas de la Pirámide (PATITAS).



Para hallar la fuerza de las barras 1-5, 2-5, 3-5, 4-5 se puede proceder de la siguiente manera a pesar de ser un problema hiperestático, la simetría de la estructura da resultados muy cerca de los valores reales.

Las cuatro reacciones de los puntos 1, 2, 3 y 4 se hallan mediante relaciones estáticas y al multiplicar su valor por la secante del ángulo de cada barra con la vertical tenemos la

fuerza en cada una de las patitas.

$$R_1 = \frac{C \max}{4} - \frac{2 C \max(e)}{2g} + \frac{h^*}{2g} \quad 2 C \max (\tan \beta) + (V_x + V_y)$$

$$R_2 = \frac{C \max}{4} - 0 + \frac{h^*}{2g} \quad 0 \quad + \quad (V_x - V_y)$$

$$R_3 = \frac{C \max}{4} = \frac{2 C \max(e)}{2g} - \frac{h^*}{2g} \quad 2 C \max (\tan \beta) + (V_x + V_y)$$

$$R_4 = \frac{C \max}{4} + 0 - \frac{h^*}{2g} \quad 0 \quad + \quad (V_x - V_y)$$

Las secantes de las cuatro barras son:

$$1 - 5 = \frac{2\left(\frac{g}{2} + e\right)^2 + h^{*2}}{H} = \sec \delta_1$$

$$2 - 5 = 4 - 5 = \frac{\left(\frac{g}{2} + e\right)^2 + \left(\frac{g}{2} - e\right)^2 + h^{*2}}{H} = \sec \delta_2 = \sec \delta_4$$

$$3 - 5 = \frac{2\left(\frac{g}{2} - e\right)^2 + h^{*2}}{H} = \sec \delta_3$$

De modo que las fuerzas en las barras:

$$1 - 5 \quad F_1 = R_1 \cdot \sec \delta_1$$

$$2 - 5 \quad F_2 = R_2 \cdot \sec \delta_2$$

$$3 - 5 \quad F_3 = R_3 \cdot \sec \delta_3$$

$$4 - 5 \quad F_4 = R_4 \cdot \sec \delta_4$$

La longitud de las barras es :

$$L_1 = h^* \sec \delta_1 \quad \text{Barra } 1 - 5$$

$$L_2 = L_4 = h^* \sec \delta_2 \quad \text{Barra } 2 - 5, 4 - 5$$

$$L_3 = h^* \sec \delta_3 \quad \text{Barra } 3 - 5$$

g.) Cálculo de excentricidad (Ver figura 6.5)

$$e = h^* \tan \beta$$

Si

$$h^* = 3.45 \text{ m.}$$

$$\tan \beta = 0.102$$

$$C = 3.45 (0.102)$$

$$C = 0.352 \text{ m.}$$

Para el ejemplo la fuerza y longitud de las patitas es :

$$e = 0.352 \text{ m.}$$

$$f = 0.497 \text{ m.}$$

$$g = 1.406 \text{ m.}$$

$$h^* = 3.45 \text{ m.}$$

$$h = 3.15 \text{ m.}$$

$$b = 2.40 \text{ m.}$$

$$\bar{V}_x = 62.78 \text{ Kg.}$$

$$\bar{V}_y = 3164 \text{ Kg.}$$

$$C \text{ max} = 77911 \text{ Kg.}$$

$$\bar{C} = 78720 \text{ Kg.}$$

$$\sec \delta_1 = \frac{\sqrt{2\left(\frac{1.406}{2} + 0.352\right)^2 + 3.45^2}}{3.15} = 1.193$$

$$\sec \delta_4 = \sec \delta_2 = \frac{\sqrt{\left(\frac{1.406}{2} + 0.352\right)^2 + \left(\frac{1.406}{2} - 0.352\right)^2}}{3.15} = 1.151$$

$$\sec \delta_3 = \frac{\sqrt{2\left(\frac{1.406}{2} - 0.352\right)^2 + 3.45^2}}{3.15} = 1.107$$

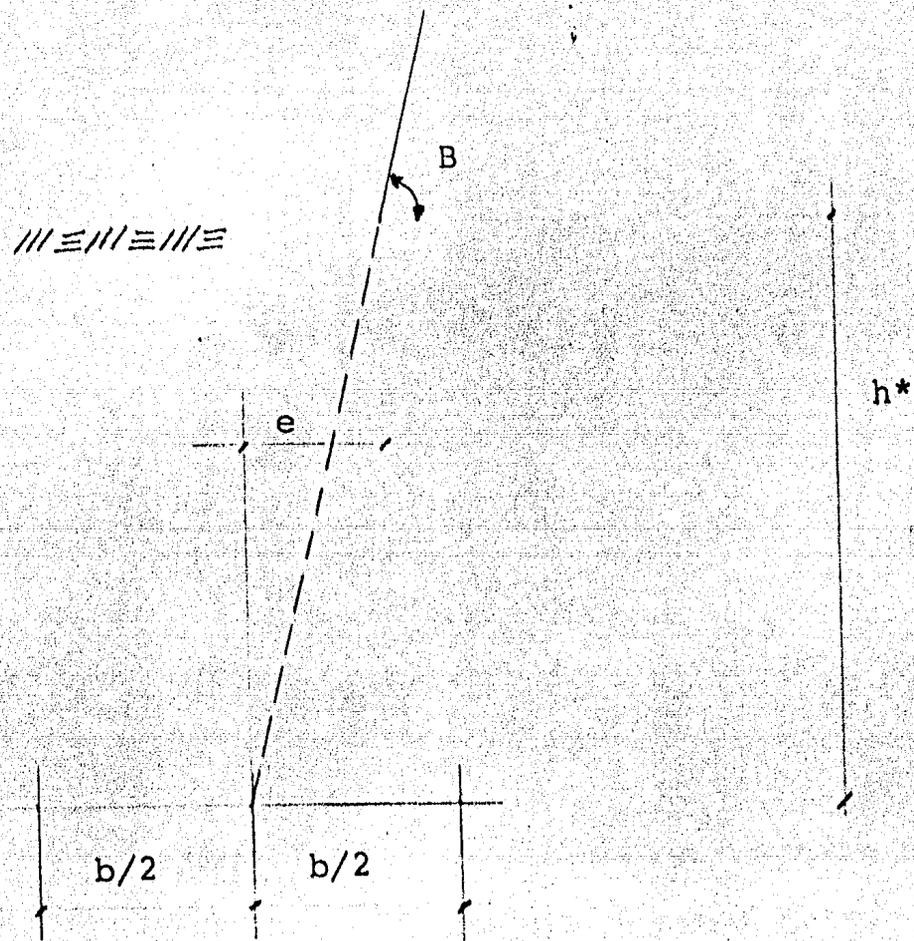


Fig. 6.5

$$R_1 = \left\{ \frac{77911}{4} - \frac{(77911)(0.352)}{1.4064} + \frac{3.45}{2(1.4064)} \left[2(77911) \right. \right. \\ \left. \left. (0.102) + (62.78 + 3164) \right] \right\} 1.193 =$$

$$R_1 = 27952 \text{ kg.}$$

$$R_2 = \left\{ \frac{77911}{4} + \frac{3.45}{2(1.4064)} (62.78 + 3164) \right\} 1.151$$

$$R_2 = 26974 \text{ kg.}$$

$$R_3 = \left\{ \frac{77911}{4} + \frac{(77911)(0.352)}{1.4064} - \frac{3.45}{2(1.4064)} \left[2(77911) \right. \right. \\ \left. \left. (0.102) + (62.78 + 3164) \right] \right\} 1.107 =$$

$$R_3 = 17187 \text{ kg.}$$

$$R_4 = \left\{ \frac{77911}{4} - \frac{3.45}{2(1.4064)} (62.78 + 3164) \right\} 1.151 =$$

$$R_4 = 17864 \text{ kg.}$$

Todas las fuerzas son positivas ∴ de compresión.

La longitud de las barras es:

$$L_1 = 3.45 (1.193) = 4.116 \text{ m}$$

$$L_4 = L_2 = 3.45 (1.151) = 3.971 \text{ m.}$$

$$L_4 = 3.45 (1.107) = 3.819 \text{ m.}$$

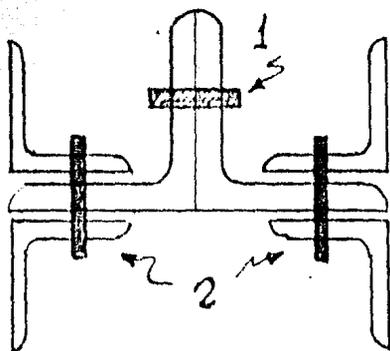
Diseño de Patitas.

Tomando una longitud de diseño.

$$L = \frac{411.6}{2} = 205.8 \text{ cm.}$$

Colocar ángulos de 4 x 5/6 AR, cuya capacidad de 28500 kg. con 210 en z y redundantes, a la mitad de la longitud de las patitas, con 1 1/2 x 4 AR. (Ver Fig. 6.6).

Tornillos para ángulo de unión.



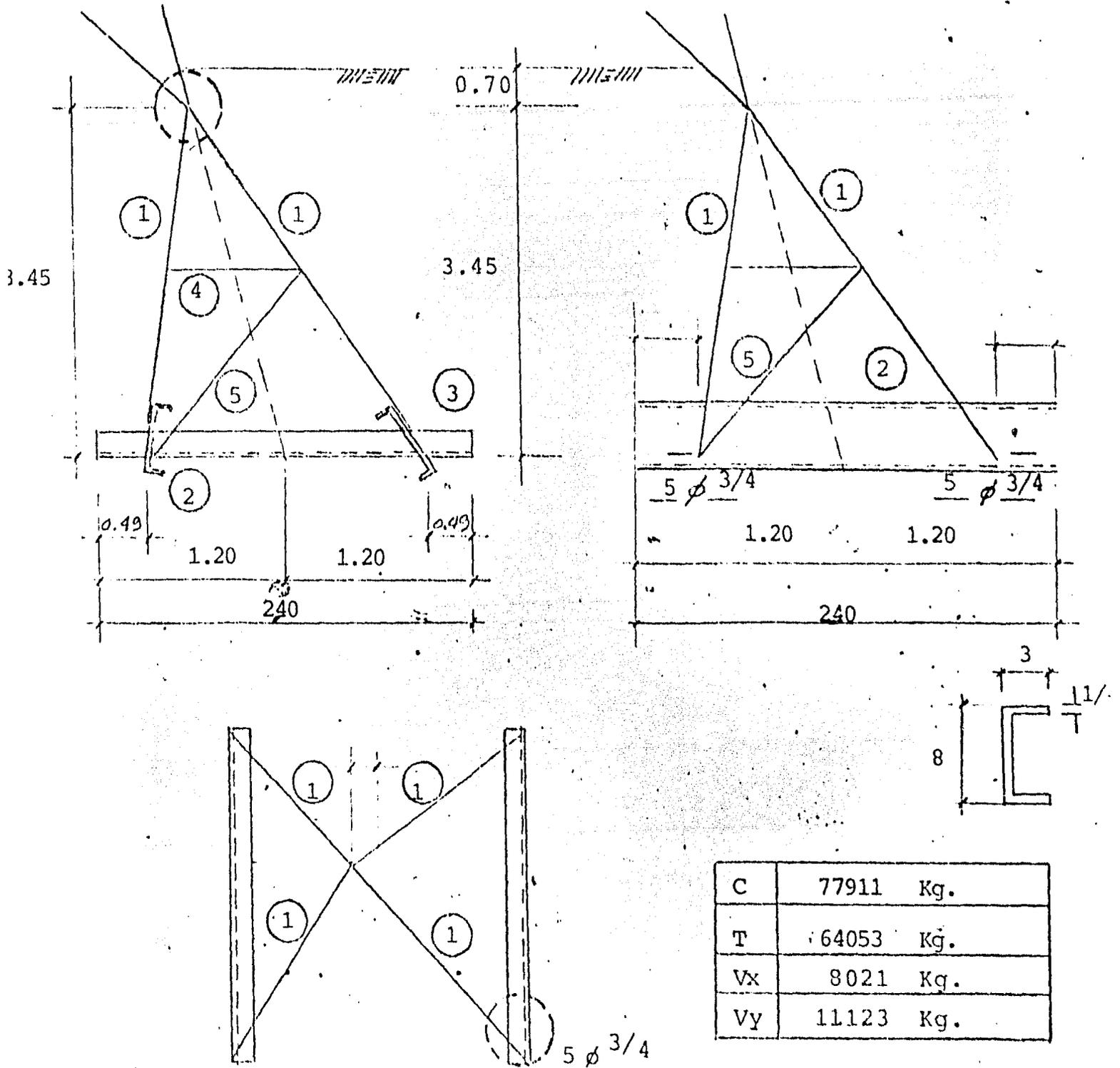
Para 1 con $\frac{\bar{C}}{2} = \frac{78720}{2} =$
 $= 39360$ kg. se colocarán
 tornillos $\phi 3/4$ " cuya ca-
 pacidad es de 6100 kg. al
 corte simple. Por lo tan-
 to colocar 7 $\phi 3/4$ ".

Para 2 con $\frac{\bar{C}}{4}$ ó 2 R max. en patitas, tenemos:

$$\frac{\bar{C}}{4} = \frac{78720}{4} = 19680 \text{ kg.}$$

$$2 \text{ R max} = 2(27952) = 55904 \text{ kg.}$$

Con tornillos $\phi 3/4$ trabajando al corte doble cuya capacidad es de 12200 kg. colocar 5 $\phi 3/4$ ".



C	77911 Kg.
T	64053 Kg.
Vx	8021 Kg.
Vy	11123 Kg.

MARCA	PERFIL	Nº PZAS	PESO
1	4 x 5/16 AR	4	194
2	8 x 3 x 1/4 STD	2	75
3	4 x 5/16 AR	8	234
4	1 1/2 x 4 ^m STD	4	11
5	2 x 4 ^m STD	4	22
			536

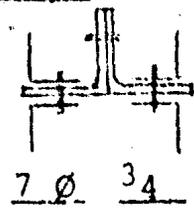


Fig. 6.6

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

En el capítulo 6 se presenta el estudio de una torre tipo DELTA que ejemplifica los conceptos antes mencionados, y la utilización de programas de computadora como ayuda importante en el análisis y diseño de la torre.

De todo lo anterior podemos arribar a las siguientes conclusiones:

- 1.) El estudio de las torres de transmisión involucra - consideraciones de análisis en las estructuras que - requieren de la ayuda de la computadora para resolver las en forma rápida y precisa. Las complicaciones - geométricas que el estudio involucra resulta fácilmente manejables con este tipo de programas.
- 2.) Una vez realizados los análisis de esfuerzos se procede al diseño de cada uno de los elementos y de las conexiones de la torre para lo cual se debe, así mismo, hacer uso de programas de computación, tablas, - nomogramas o ábacos que simplifiquen esta tarea sin menoscabo de la aproximación de los cálculos.
- 3.) . Cuando las geometrías finales obtenidas en el diseño presenten discrepancias significativas con las geometrías propuestas de partida, se podrá hacer necesario un nuevo análisis estructural y consecuentemente una revisión a los diseños realizados con base en el primer ciclo de análisis.
- 4.) . Existen programas de computadora que efectúan en forma automática las iteraciones consecutivas de análisis-diseño-análisis-diseño-etc., hasta llegar a hacer diseños optimizados. Cuando se empleen este tipo de programas el ingeniero deberá utilizar su criterio como etapa final para normalizar los distintos perfiles que se obtienen en un análisis óptimo.

- 5.) . El ingeniero deberá juzgar que las deflexiones obtenidas bajo los distintas combinaciones de carga esten dentro de las permisibles.
- 6.) . La realización de los planos definitivos deberá considerar en forma cuidadosa las fases de fabricación y montaje de las torres.
- 7.) . El diseño de las cimentaciones deberá garantizar la estabilidad de las estructuras bajo cualquier condición de carga.
- 8.) . El ingeniero siempre deberá tener la última palabra para aplicar su criterio enjuiciando los resultados emitidos por la computadora. Siempre es importante corroborar con la simple aplicación de las ecuaciones de la estática que se cumple con el equilibrio de las estructuras bajo cualquier condición de carga, y esto se puede hacer mediante cálculos simples.

Comentarios Adicionales.

El objeto de esta tesis ha sido el de presentar y ejemplificar los conceptos básicos para el análisis y diseño de las torres de transmisión.

Primeramente se habló de la necesidad de crear líneas de transmisión y las perspectivas que éste concepto nos presenta para un futuro.

Se expusieron los tópicos más importantes para el diseño de las torres de transmisión así como los conceptos generales de especificaciones nacionales e internacionales.

Es necesario contar con ingenieros especializados en el área de ingeniería estructural para capacitarlos en los diseños de torres de transmisión de energía eléctrica ya que las necesidades del país en éste sector lo demandará en un futuro muy próximo.

Es indispensable optimizar el diseño de las torres de transmisión por la gran cantidad de repetición de los distintos tipos de estructuras y además la confiabilidad que estos diseños requieren para garantizar su buen comportamiento durante su vida útil.

Para el diseño es recomendable el dimensionar los elementos de la torre primeramente por carga axial y después revisar considerando adicionalmente la flexión producida por las excentricidades de las conexiones.

El conocimiento de criterios menos conservadores y que han sido utilizados con éxito en otros países nos hace pensar que todavía se puede optimizar algo, en cuanto a los diseños, de acuerdo a las normas de diseño que rigen en nuestro país.

B I B L I O G R A F I A

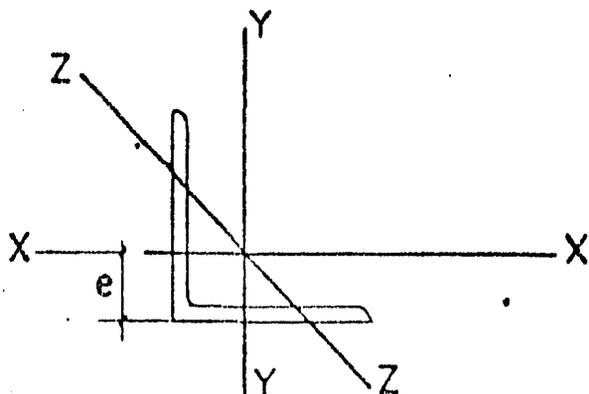
- 1.- STEEL Construction Manual "AISC", eight edition.
- 2.- GUIDE FOR design of steel Transmission Towers "A.S.C.E." Manual and reports on engineering practice.
- 3.- Manual par Constructores.
Fundidora Monterrey
- 4.- Manual de Obras Civiles
Comisión Federal de Electricidad.
- 5.- Redes Eléctricas.
Gaudencio Zoppeti Juidez
Editorial Gustavo Gili, S.A.
- 6.- Estructuras de Acero.
Oscar de Buen y López de Heredia.
- 7.- Diseño de Estructuras de Acero
Bresler, B Lin T.Y., y Scalzi J.B.
Editorial Limusa, México.
- 8.- Theory of Elastic Stability.
Timoshenko, S y Gere J.
Mc Graw-Hill Book Co., Nueva York, E.U.A.

- 9).- Especificaciones Generales para el Diseño y Construcción de Torres Autosoportadas para Líneas de Transmisión.
Gerencia de Operación
Comisión Federal de Electricidad.
- 10).- Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Normas Técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el Distrito Federal.
Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.
Publ. 401., México.
- 11).- Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas Normas Técnicas complementarias del reglamento de construcciones para el Distrito Federal.
Instituto de Ingeniería. UNAM
Pub 402., México.
- 12).- Loading and STENGTH OF TRANSMISSION LINE SYSTEMS.
Part. 1.- Considerations in the Selection of Line Loading Criterio.
Part. 2.- Designing for Wind Loads.
Part. 3.- Icing and Combined Ice and Wind Loads.
Part. 4.- A Designing for cyclic loads.
B Designing for Construction and Maintenance loads.
C Designing for Hazardous and Unstable Sites.
Part. 5.- Considerations in designing for Secondary or post failure loads.

Report of the Subgroup on Loadings and Strength
of Transmission Line Systems.

- 13). Transmission Line Failures
IEEE Power Engineering Society.
- 14). History of Tower Development.
J.R. Arena.
- 15). A Guide to the Conceptual Design of
Transmission Line Structures.
IEEE Comitee Report.
- 16). Seminario sobre Torres de Transmisión
DR.HAROLD N. WENTZEL.
- 17). United States Deparment of the Interior
Bureau of Reclamation Commissioner's Office
Design Standards N^o 10, Transmission
Structures ; Denver, Colorado.

— PROPIEDADES —



I = Momento de inercia

r = Radio de giro

S = Modulo de seccion

e = Altura del eje neutro

Perfil pulg.	Peso kg./m	Area cm ²	I _x	r _x	S _x	e _x	eje z-z	
1 1/2	3/8	4.99	6.34	7.91	1.12	3.11	1.30	0.70
	5/16	4.26	5.40	6.66	1.12	2.62	1.24	0.70
	1/4	3.48	4.40	5.83	1.14	2.20	1.19	0.70
	3/16	2.68	3.43	4.58	1.17	1.64	1.12	0.70
	4mm	2.23	2.85	3.98	1.17	1.47	1.10	0.70
	1/8	1.83	2.34	3.25	1.17	1.18	1.07	0.70
1 3/4	5/16	5.04	6.39	11.24	1.32	3.77	1.40	0.80
	1/4	4.12	5.20	9.57	1.35	3.11	1.35	0.80
	3/16	3.15	4.03	7.49	1.37	2.29	1.30	0.80
	4mm	2.69	3.39	6.42	1.37	2.02	1.26	0.80
	1/8	2.14	2.74	5.41	1.40	1.64	1.22	0.80
2	3/8	6.99	8.77	19.98	1.50	5.74	1.63	0.90
	5/16	5.83	7.42	17.46	1.52	4.92	1.55	0.90
	1/4	4.75	6.06	14.57	1.55	4.10	1.50	0.90
	3/16	3.63	4.61	11.45	1.57	3.11	1.45	1.00
	4mm	3.03	3.86	9.76	1.58	2.66	1.42	1.00
	1/8	2.46	3.10	7.91	1.60	2.13	1.40	1.00
2 1/2	3/8	8.78	11.16	40.79	1.91	9.34	1.93	1.20
	5/16	7.44	9.48	35.38	1.93	7.87	1.88	1.20
	1/4	6.10	7.68	29.14	1.96	6.39	1.83	1.20
	3/16	4.61	5.81	22.89	1.98	4.92	1.75	1.20
	4mm	3.83	4.88	19.44	1.98	4.21	1.73	1.20
	1/8	3.10	3.93	15.74	2.00	3.28	1.70	1.20
3	5/8	17.11	21.68	109.10	2.24	21.30	2.49	1.50
	1/2	13.99	17.74	92.40	2.29	17.50	2.36	1.50
	7/16	12.35	15.68	82.80	2.31	15.60	2.31	1.50
	3/8	10.72	13.61	73.30	2.31	13.60	2.26	1.50
	5/16	9.08	11.48	62.90	2.34	11.60	2.21	1.50
	1/4	7.29	9.29	51.60	2.36	9.50	2.13	1.50
	3/16	5.52	7.03	40.01	2.39	7.23	2.08	1.50

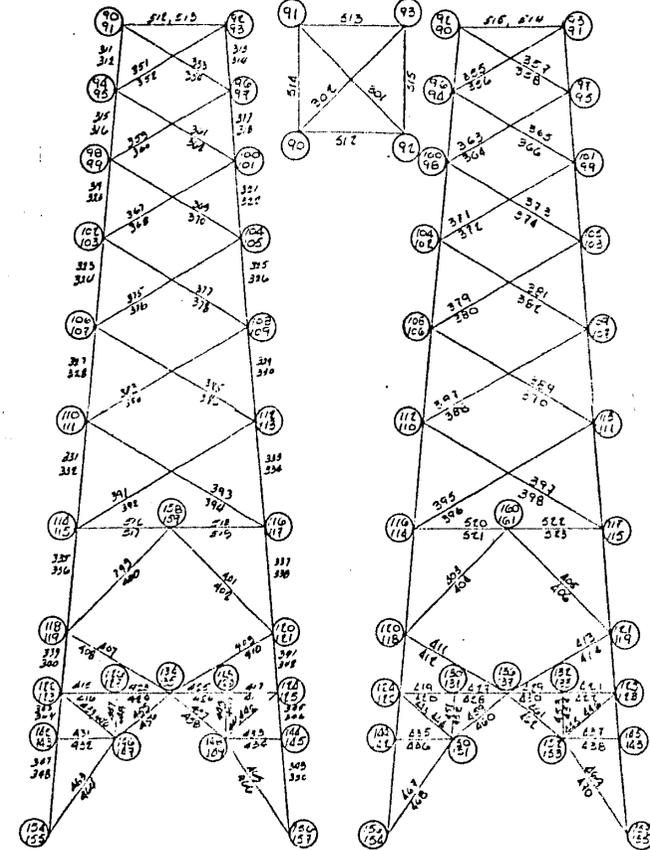
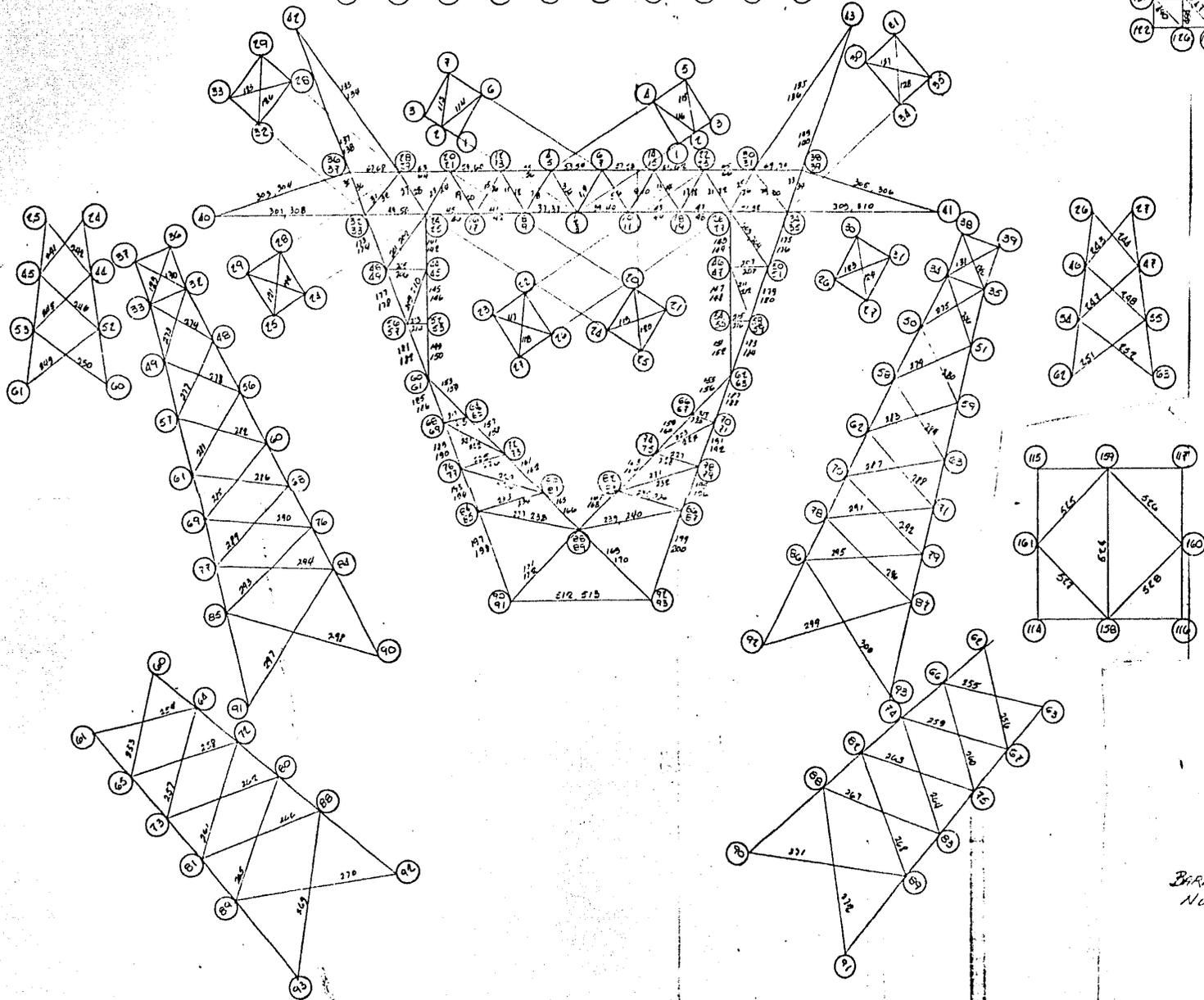
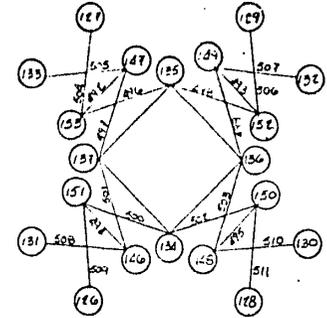
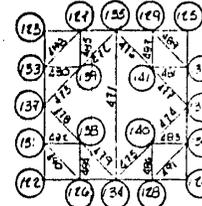
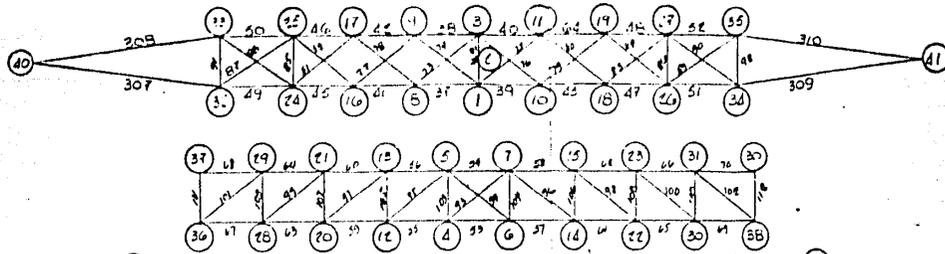
ANGULOS DE LADOS IGUALES

PROPIEDADES

Perfil pulg.	Peso kg./m	Area cm ²	I _x	r _x	S _x	e _x	eje z-z	
3 ¹ / ₂	3/4	23.81	30.26	208.11	2.62	34.41	2.92	1.73
	5/8	20.24	25.68	178.98	2.64	29.50	2.79	1.73
	1/2	16.52	20.97	149.84	2.69	24.58	2.69	1.73
	3/8	12.65	16.00	120.71	2.72	19.66	2.56	1.75
	5/16	10.71	13.48	101.95	2.74	15.99	2.51	1.75
	1/4	8.63	10.90	83.66	2.77	13.01	2.46	1.75
	3/16	6.55	8.36	64.36	2.78	9.92	2.40	1.75
4	3/4	27.53	35.10	318.8	3.02	46.0	3.22	1.95
	5/8	23.36	29.74	277.2	3.05	39.3	3.12	1.95
	1/2	19.05	24.19	231.4	3.10	32.3	2.99	1.98
	7/16	16.82	21.35	206.9	3.12	28.7	2.94	1.98
	3/8	14.58	18.15	181.5	3.12	24.9	2.89	2.01
	5/16	12.20	15.48	154.4	3.15	21.1	2.84	2.01
	1/4	9.82	12.52	126.5	3.18	17.2	2.77	2.01
5	3/4	35.12	44.77	655.2	3.81	74.2	3.86	2.46
	5/8	29.76	37.81	565.3	3.86	63.3	3.76	2.46
	1/2	24.11	30.65	468.3	3.91	51.6	3.63	2.49
	7/16	21.28	26.97	417.1	3.94	45.7	3.58	2.49
	3/8	18.30	23.29	363.8	3.96	39.7	3.53	2.51
6	1"	55.66	70.97	1476.0	4.57	140.0	4.72	2.97
	7/8	49.26	62.77	1328.6	4.60	125.0	4.62	2.97
	3/4	42.71	54.45	1171.7	4.65	109.1	4.52	2.97
	5/8	36.01	45.87	1005.6	4.67	92.8	4.39	3.00
	9/16	32.59	41.48	918.6	4.70	84.2	4.34	3.00
	1/2	29.17	37.10	828.7	4.72	75.5	4.27	3.00
	7/16	25.60	32.65	735.9	4.75	66.7	4.22	3.02
	3/8	22.17	28.13	640.6	4.78	57.8	4.16	3.02

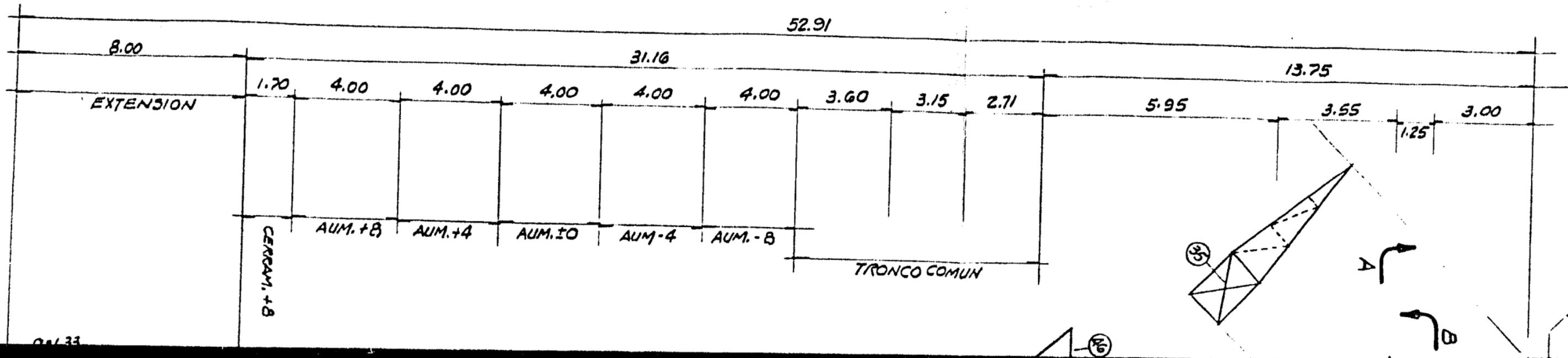
CANAL DE PLACA
DOBLADA

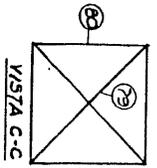
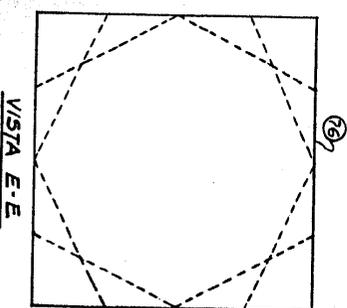
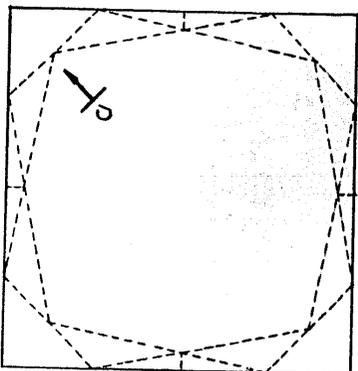
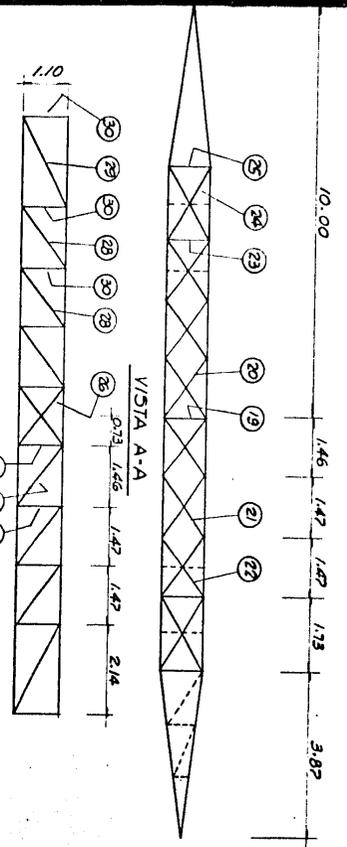
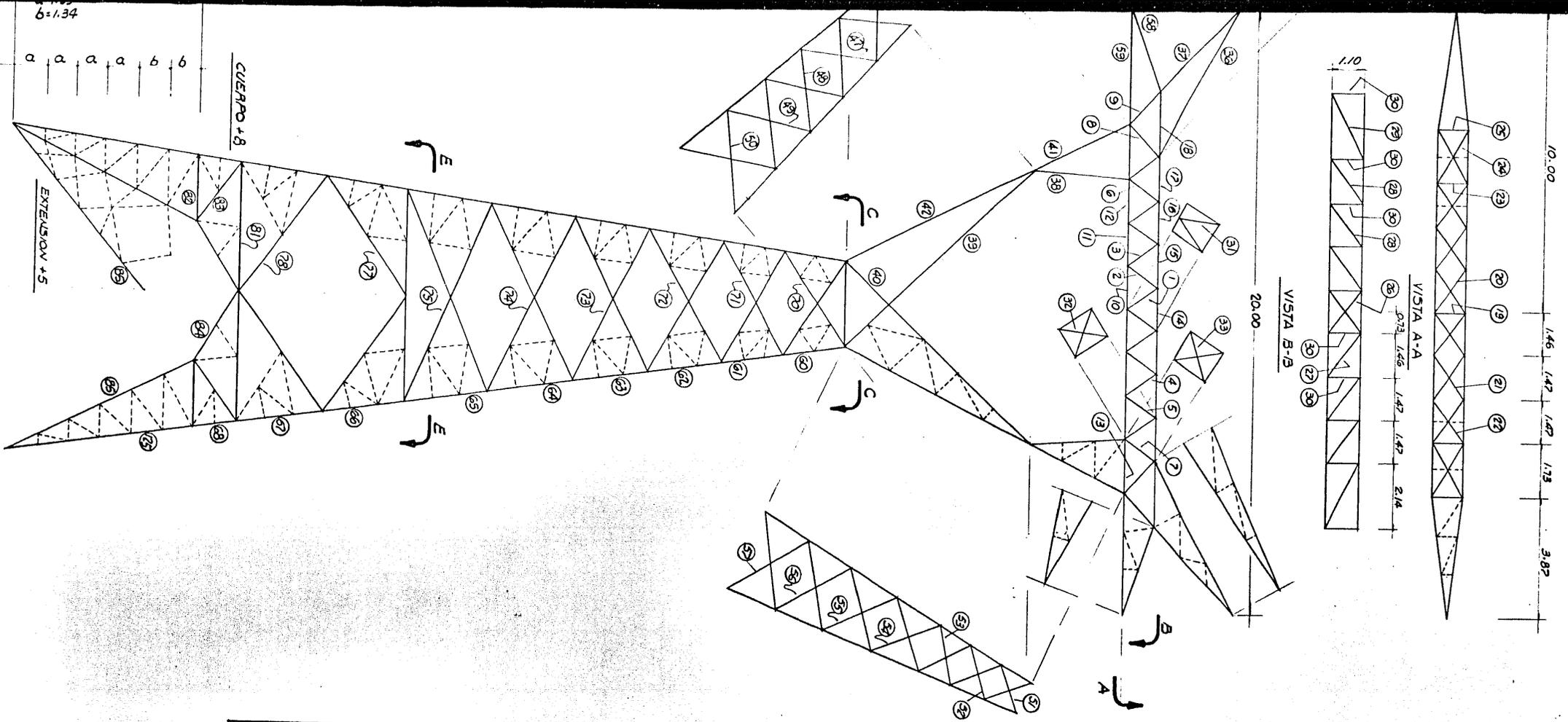
b x h	t	I	S	A	PESO
Pulg.	Pulg.	cm. ⁴	cm. ³	cm. ²	Kg/ml.
2 x 4	³ / ₁₆	144.51	28.45	9.68	7.59
2 x 5	³ / ₁₆	235.0	37.59	10.3	9.47
2 x 6	³ / ₁₆	363.8	49.51	12.0	9.41
2 x 8	³ / ₁₆	733.4	73.34	14.4	11.29
2 x 6	¹ / ₄	464.8	61.97	15.9	12.45
2 x 8	¹ / ₄	943.2	94.32	19.0	14.94
2 ¹ / ₂ x 5	³ / ₁₆	281.8	45.0	12.1	9.49
2 ¹ / ₂ x 6	³ / ₁₆	432.1	57.6	13.3	10.43
2 ¹ / ₂ x 8	³ / ₁₆	856.9	85.7	15.7	12.31
2 ¹ / ₂ x 6	¹ / ₄	553.2	73.7	17.6	13.35
2 ¹ / ₂ x 8	¹ / ₄	1104.0	110.4	20.7	16.29
3 x 5	³ / ₁₆	325.1	52.0	13.3	15.45
3 x 6	³ / ₁₆	495.4	66.0	14.5	11.37
3 x 8	³ / ₁₆	971.2	97.1	16.9	13.25
3 x 6	¹ / ₄	635.2	84.7	19.2	15.64
3 x 8	¹ / ₄	1252.9	125.3	22.3	17.53
3 ¹ / ₂ x 6	³ / ₁₆	561.2	74.5	15.7	12.35
3 ¹ / ₂ x 8	³ / ₁₆	1090.1	109.0	18.1	14.23
3 ¹ / ₂ x 10	³ / ₁₆	1840.1	147.2	20.5	15.1
3 ¹ / ₂ x 6	¹ / ₄	725.4	96.0	20.8	16.34
3 ¹ / ₂ x 8	¹ / ₄	1407.7	140.7	24.0	19.33
3 ¹ / ₂ x 10	¹ / ₄	2345.0	190.8	27.2	21.32



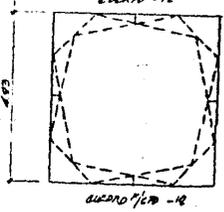
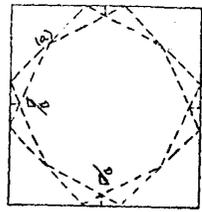
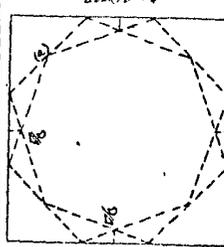
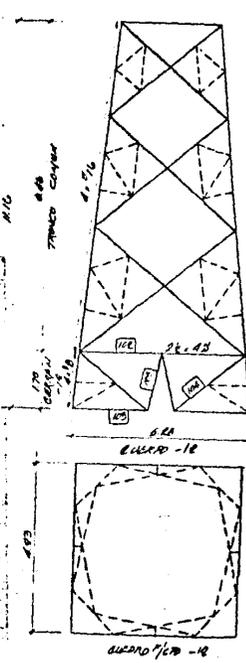
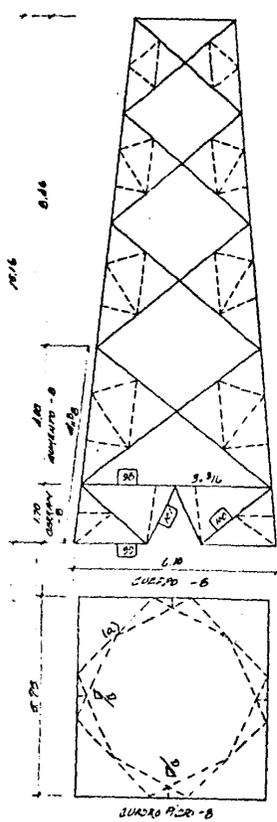
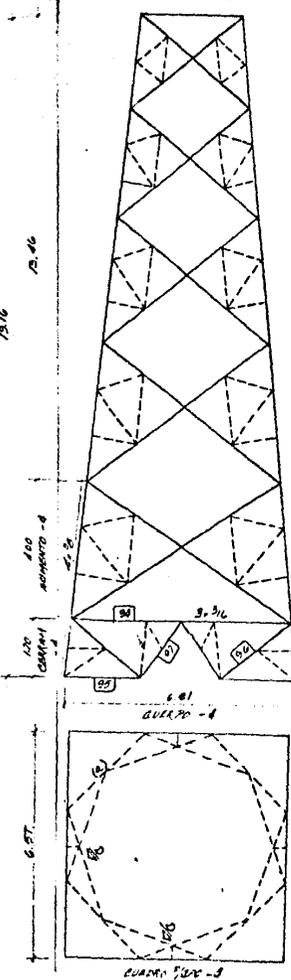
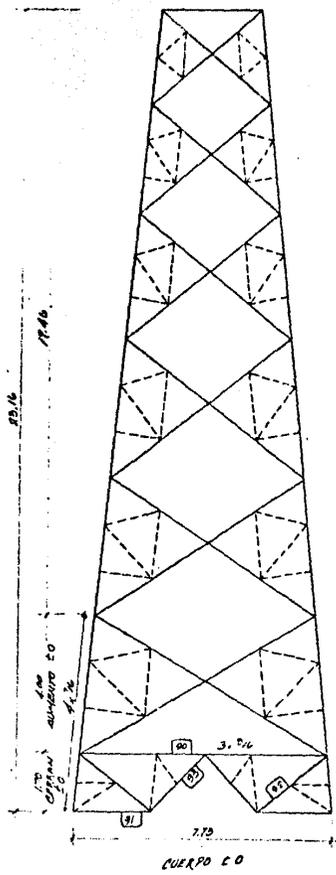
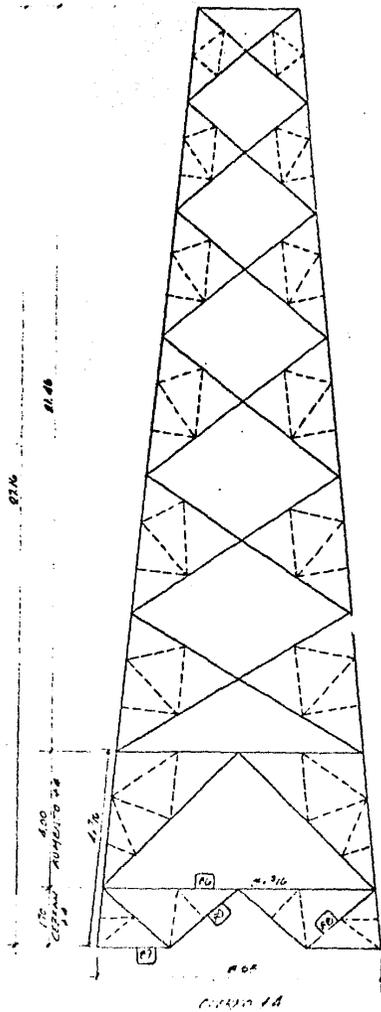
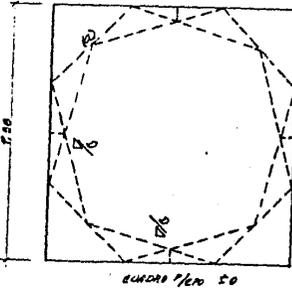
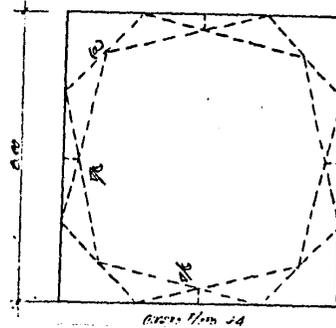
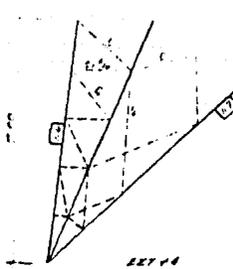
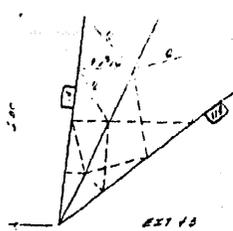
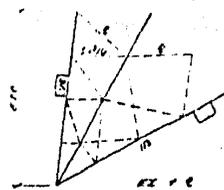
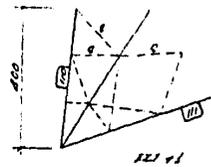
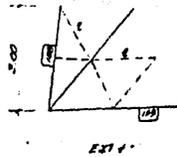
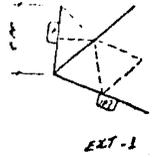
BARRAS 528.
NODOS 157

UNIVERSIDAD NAL. AUT. DE MEXICO		D
FACULTAD DE INGENIERIA TOPOLOGICO		
TECNOLOGIA PROFESIONAL		
ALEJANDRO J. MILLAN M.		07/06/2006





UNIVERSIDAD NAL. AUTONOMA DE MEX.	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ANALISIS Y DISEÑO DE TORRE PARA 230 K.V.I.C. TIPO: D — CUERPO BASICO —	
TESIS PROFESIONAL	ACOT. : METROS
ALEJANDRO J. MILLAN M.	Nº. CTA. 6801290-0



UNIVERSIDAD NAL. AUT. DE MEXICO		D
FACULTAD DE INGENIERIA		
CUERPO BASICO		
CUERPOS Y EXTENSIONES		
TESIS PROFESIONAL	ACOTACIONES EN: Met	
ALEJANDRO J. MILLAN M.	CTA.-68	

CAPACIDADES DE MIEMBROS SOMETIDOS A TENSION Y COMPRESION AXIAL

(SECCION ESTRUCTURAL ANGULO)

Las tablas siguientes muestran las capacidades permisibles y últimas a tensión y compresión axial de ángulos de lados iguales, para aceros estandar (STD) y alta resistencia (AR), con y sin reducción por pandeo local según ejes Z-Z y X-X.

Las capacidades mostradas en estas tablas están basadas en la "GUIDE FOR DESIGN OF STEEL TRANSMISSION TOWERS" del American Society of Civil Engineers, (A.S.C.E.) el cual hace ligeras variaciones a las fórmulas de capacidades de columnas sujetas a carga axial, que contempla el American Institute of Construction (A.I.S.C.) en su capítulo correspondiente a las especificaciones para el Diseño, Fabricación y Erección de edificios con estructuras de acero. De acuerdo a una investigación del Column Research Council (C.R.C.) , sobre las especificaciones mencionadas, explica que éstas han sido dirigidas principalmente a perfiles que se utilizan más comunmente en edificios o estructuras similares. Por otra parte el C.R.C. dirige sus investigaciones al estudio de la sección estructural predominante en torres de Transmisión y Subestaciones, la sección ángulo, ya sea simple o múltiple.

Considerando lo anterior el A.S.C.E. adopta las fórmulas del C.R.C. para el rango inelástico y de EULER para el rango elástico. En la curva de capacidades de carga-relación de esbeltez, la separación entre uno y otro rango lo denota el valor de KL/r llamado C_c (relación de esbeltez efectiva para la cual es esfuerzo crítico corresponde a la mitad del esfuerzo de fluencia).

La falla en un miembro estructural comprimido axialmente puede presentarse de dos maneras, ya sea :

- a) Por pandeo general del miembro
- b) Por pandeo local de los miembros que la constituyen.

Las tablas de capacidades, contemplan estas dos posibilidades.

La columna se puede definir como una pieza recta solicitada por una fuerza axial de compresión y también al conjunto de piezas (Montantes y celosía) que trabaja, estructuralmente hablando, como una sola pieza.

Puesto que la capacidad de carga de una columna es inversamente proporcional al valor de su relación de esbeltez (KL/r), es necesario mantener este valor tan bajo como sea posible así, que el material de que este compuesta sea capaz de trabajar a esfuerzos elevados. De esta forma para una longitud dada, la sección transversal deberá tener un radio de giro la más elevada posible. Esto se logra colocando el material de la sección lo más alejado del centro de gravedad de la misma, como es el caso de columnas a base de celosía, o secciones tubulares. Para el caso de ángulo la sección óptima es tal, que a un momento de inercia dado corresponda el área mínima. Esto se logra proporcionando secciones de alas grandes (b), y espesores pequeños (t). Desafortunadamente esto conlleva la posible falla por pandeo local, en donde cada ala del ángulo se comporta a su vez como una columna, cuya alta relación ancho-espesor (b/t), propicia el colapso de la sección para cargas menores que las correspondientes para el pandeo total.

Las piezas comprimidas sumamente cortas pueden fallar por plastificación completa en sus secciones transversales cuando sobre ellas actúa una carga de intensidad

$$P_y = A f_y$$

Donde:

A = Área de la sección transversal crítica

f_y = Esfuerzo de fluencia del material.

Este caso constituye la condición límite del pandeo de piezas comprimidas, correspondiente a relaciones de esbeltez que tienden a cero.

ARD DECK*** PLEASE RETURN THIS LISTING TO
A ALEX MILLAN

P A N D E O

Se ha definido como pandeo a la pérdida repentina de resistencia que acompaña a la aparición de fuertes deformaciones, independientemente de que los esfuerzos hayan o no llegado al punto de fluencia. Iniciado el pandeo los desplazamientos laterales hacen que los esfuerzos crezcan rápidamente y se entre pronto en el intervalo inelástico, de manera que la falla se presente siempre en este intervalo.

Se hace notar que el fenómeno de pandeo, no es un problema de esfuerzos, sino de estabilidad, y por ello, las fórmulas originales que representan este fenómeno se refieren a cargas críticas y no a esfuerzos. Sin embargo, por razones prácticas estas cargas se traducen a esfuerzos.

PANDEO ELASTICO

La determinación de la carga crítica de una columna esbelta, doblemente articulada y de sección transversal constante fué prácticamente resuelto por Leonardo Euler y está dada por la siguiente expresión:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (1)$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica a Euler

E = Módulo a elasticidad del material

I = Momento de inercia de la sección

L = Longitud de la pieza

Para obtener el esfuerzo crítico, es decir cuando se inicia el pandeo, y expresado el área en función del momento de inercia y radio de giro de la sección, tenemos:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad (2)$$

Donde:

f_{cr} = Esfuerzo crítico de Euler

E = Módulo de elasticidad del material

r = Radio de giro de la sección

L = Longitud de la pieza

Para obtener el esfuerzo crítico de diseño de una pieza dada la relación L/r , debe ser máxima.

PANDEO INELASTICO

Engesser y Shanley formularon la teoría del pandeo inelástico, comprobando que las fórmulas de Euler no son aplicables a columnas cortas o de longitud intermedia en las que se alcanza el límite de proporcionalidad antes que el esfuerzo crítico de pandeo elástico.

Para ambos tipos de pandeo el C.R.C. ha afinado estas teorías y dirigiendo su investigación a la sección en ángulo, ha introducido consideraciones o reducciones de la capacidad de carga en columnas, por conceptos como, efectos residuales, esfuerzos debidos al rolado, curvaturas iniciales, condiciones de excentricidad pequeña en la aplicación de la carga y otras. Presenta las siguientes fórmulas para capacidades últimas de carga de columnas sujetas a compresión axial:

$$F_a = \left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] F_y \quad (1) \quad \begin{array}{l} \text{(Rango inelástico)} \\ \text{Si } \frac{KL}{r} < C_c \end{array}$$

$$F_a = \frac{20,124,025}{(KL/r)^2} \quad (2) \quad \begin{array}{l} \text{(Rango elástico)} \\ \text{Si } \frac{KL}{r} > C_c \end{array}$$

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} \quad (3)$$

Donde:

F_a = Esfuerzo crítico en la sección transversal del miembro sometido a compresión axial.

$\frac{KL}{r}$ = Relación de esbeltez efectiva.

C_c = Relación de esbeltez donde comienza el pandeo elástico.

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero.

E = Módulo de elasticidad del acero

Considerando que la relación ancho-espesor $\left(\frac{b}{t}\right)$ del ángulo no exceda el valor límite.

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} = \frac{662.9}{F_y} \quad (4)$$

En donde b es el ancho efectivo, igual a:

$$b = B - t - r \quad (5)$$

Donde:

b = Ancho efectivo

B = Ancho del ángulo

T = Espesor del ángulo

r = Radio de curvatura del ángulo

Si el valor de $\left(\frac{b}{t}\right)$ es mayor de $\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}$, en las ecuaciones 1 y 2 el valor de F_y se sustituye por el valor de F_{cr} , (reducción por pandeo local), así:

$$F_{cr} = \left[1.8 - \frac{0.8 \left(\frac{b}{t}\right)}{\left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}}} \right] F_y \quad \text{Si } \left(\frac{b}{t}\right)_{\text{lim}} \leq \frac{b}{t} < \frac{994.35}{F_y} \quad (6)$$

$$F_{cr} = \frac{590,604}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \text{Si } \left(\frac{b}{t}\right) \geq \frac{994.35}{F_y} \quad (7)$$

Para capacidades de trabajo se obtienen dividiendo las capacidades anteriores por su respectivo factor de seguridad, así:

$$F_a = \frac{F_a \text{ (últimas)}}{F.S.} \quad \text{Donde: } F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{KL}{rC_c} - \frac{1}{8} \left(\frac{KL}{rC_c}\right)^3 \quad \text{rango inelástico}$$

$$F_a = \frac{F_a \text{ (última)}}{F.S.} \quad \text{Donde: } F.S. = 1.92 \quad \text{rango elástico.}$$

T E N S I O N

El manual del ASCE, se refiere al manual del AISC para obtener las capacidades de miembros a tensión y a esfuerzos combinados. En este último se tiene que la capacidad para tensión axial esta dada por dos expresiones:

La primera (8 y 10) contra la falla por fluencia del material de la pieza en toda el área, y la segunda (9 y 11) contra la fractura en el área neta Así tenemos: para diseño elástico.

$$F_t = 0.6 F_y \times A_t \quad (8)$$

$$F_t = 0.5 F_u \times A_n \quad (9)$$

Donde:

F_t = Capacidad a tensión

F_y = Esfuerzo de fluencia

A_t = Area total

F_u = Esfuerzo último

A_n = Area neta

PARA DISEÑO PLASTICO

$$F_t = F_y \times A_t \quad (10)$$

$$F_t = F_u \times A_n \quad (11)$$

RD DECK** PLEASE RETURN THIS LISTING TO
ALEX MILLAN

Para la sección ángulo (sección 1.14 espec. A.I.S.C.).

El área neta se define como el ancho neto por el espesor.

El ancho neto es igual al ancho total menos la suma de diámetros de los agujeros.

Para el cálculo de capacidad, según área neta, el diámetro del agujero deberá tomarse 16 mm
(1/16") mayor que la dimensión nominal del agujero.

```

1  DE N, LMCN, L
2  INITIATION P=PI(1,1), L, J=1, P(1), PAC(1), A(1), LY(1), DZ(1), PEL(1), T1
3  I(1), T2(1), FCRIT(1), L(1), RLS(1), W(1), TOP1(1), TOP2(2), COMPZ(1,25),
4  PCOMPX(1,25), ACRC(1), T3(1), T4(1), T5(1)
5  P=1
6  P=6
7  M=1
8  I=1
9  READ (1,1) ACRC, P, Y, FU, T3, T4, T5, L, J, P
10 FCRIT=FCRIT(1), L(1), RLS(1), W(1)
11 REL1=662.97/SCRT(FY)
12 FELC=994.00/SCRT(FY)
13 DO 270 M=1, MTP
14 READ (M,1) LMCN, L, J, P, TOP1, TOP2, ACRC
15 510 FORMAT(10, F10.2, 2A4, 2A4, F10.2)
16 DO 70 J=1, JCP
17 READ (M, 500) (COMPZ(J, I), J=1, 2), E(I), ESP(I), RAL(I), A(I), RX(I), RZ(I),
18 T1(I)
19 520 FORMAT(2A4, F10.2, 4F11.3)
20 REL(I)=(E(I)-RAL(I)-RZ(I))/ESP(I)
21 T3(I)=A(I)*FY/1000.
22 T4(I)=(A(I)-(ACRC-1.0)*ESP(I))*FU/1000.
23 IF(T3(I)-T4(I))24, 25, 25
24 24 T1(I)=T3(I)
25 GO TO 26
26 25 T1(I)=T4(I)
27 T5(I)=(A(I)-(2*ACRC-1.32)*ESP(I))*FU/1000.
28 IF(T5(I)-T5(I))27, 29, 29
29 27 T2(I)=T5(I)
30 GO TO 29
31 28 T2(I)=T5(I)
32 IF(REL(I)-REL1)30, 30, 40
33 30 FCRIT(I)=FY
34 GO TO 70
35 40 IF(REL(I)-REL2)50, 60, 60
36 50 FCRIT(I)=(1.2-0.8*REL(I)/REL1)*FY
37 GO TO 70
38 60 FCRIT(I)=50*664./REL(I)**2
39 70 CONTINUE
40 DO 250 M=1, 2
41 L=LC(LM)
42 KK=L
43 80 L(1)=L*10
44 KK=KK+1
45 DO 250 J=1, JCP
46 DO 240 J=1, JL
47 F=FY
48 CC=3.14159*SCRT(2.*E/PI)
49 RESF(1)=L(J)/RZ(I)
50 RESF(2)=L(J)/RX(I)
51 DO 100 I=1, 2
52 IF(I-2)20, 31, 20
53 F=FCRIT(I)
54 CC=3.14159*SCRT(2.*E/PI)
55 IF(RESF(1)-CC)120, 120, 130
56 120 FAF1=0.5*(RESF(1)/CC)**2)PI
57 GO TO 160
58 130 IF(RESF(1)-RESF(1))100, 150, 131
59 131 IF(I-2)140, 141, 225
60 140 COMPZ(I, J)=F

```


174
175
176
177
178

CONFIDENTIAL
CONFIDENTIAL
DID CALL EXIT
END

END MESSAGE PRINTED ON NOVEMBER 19, 1982 AT 13 28 10
#00001 CIVIL @ PHILMAG (1) CAPULE (02)

1	ACERO	ALTA RESISTENCIA	4000.	5500.	250.	10.	8		
2	4	65.	103/4	203/4	1.75				
3	1.5X1/4		3.31	.313	.476	2.34	1.17	0.76	1.83
4	1.5X1/8		3.31	.397	.476	2.85	1.17	0.76	2.23
5	1.5X3/16		3.31	.476	.476	3.43	1.17	0.74	2.68
6	1.5X1/4		3.31	.635	.476	4.40	1.14	0.74	3.48
7	4	65.	103/8	203/8	1.75				
8	2X1/8		5.08	.318	.635	3.1	1.60	1.02	2.46
9	2X4MM		5.08	.397	.635	3.86	1.58	1.02	3.03
10	2X3/16		5.08	.476	.635	4.61	1.57	1.02	3.63
11	2X1/4		5.08	.635	.635	6.06	1.55	0.99	4.75
12	3	65.	103/4	203/4	2.06				
13	2.5X4MM		6.35	.397	.635	4.88	1.98	1.27	3.83
14	2.5X3/16		6.35	.476	.635	5.51	1.98	1.24	4.61
15	2.5X1/4		6.35	.635	.635	67.68	1.96	1.24	06.10
16	5	65.	103/4	203/4	2.06				
17	3X3/16		7.62	.476	.794	7.03	2.39	1.5	5.52
18	3X1/4		7.62	.635	.794	9.29	2.36	1.5	7.29
19	3X5/16		7.62	.794	.794	11.46	2.34	1.50	09.08
20	3X3/8		7.62	.953	.794	13.61	2.31	1.47	10.72
21	3X7/16		7.62	1.111	.794	15.68	2.31	1.47	12.35
22	5	65.	103/4	203/4	2.06				
23	3.5X3/16		8.89	.476	.953	08.36	2.78	1.75	06.55
24	3.5X1/4		8.89	.635	.953	10.90	2.77	1.75	08.63
25	3.5X5/16		8.89	.794	.953	13.46	2.74	1.75	10.71
26	3.5X3/8		8.89	.953	.953	16.00	2.72	1.75	12.65
27	3.5X1/2		8.89	1.270	.953	20.97	2.69	1.73	16.52
28	5	65.	103/4	203/4	2.06				
29	4X1/4		10.16	.635	.953	12.52	3.18	2.01	09.82
30	4X5/16		10.16	.794	.953	15.48	3.15	2.01	12.20
31	4X3/8		10.16	.953	.953	18.45	3.12	2.01	14.58
32	4X7/16		10.16	1.111	.953	21.35	3.12	1.98	16.62
33	4X1/2		10.16	1.270	.953	24.19	3.10	1.98	19.05
34	5	65.	103/4	203/4	2.06				
35	5X3/8		12.70	.953	1.270	23.29	3.96	2.51	18.30
36	5X7/16		12.70	1.111	1.270	26.97	3.94	2.49	21.28
37	5X1/2		12.70	1.270	1.270	30.65	3.91	2.49	24.11
38	5X5/8		12.70	1.588	1.270	37.81	3.86	2.46	29.76
39	5X3/4		12.70	1.905	1.270	44.77	3.81	2.46	35.12
40	5	65.	103/4	203/4	2.06				
41	6X3/8		15.24	.953	1.270	28.13	4.78	3.02	22.17
42	6X7/16		15.24	1.111	1.270	32.65	4.75	3.02	25.60
43	6X1/2		15.24	1.270	1.270	37.10	4.72	3.00	29.17
44	6X5/8		15.24	1.588	1.270	45.87	4.67	3.00	36.01
45	6X3/4		15.24	1.905	1.270	54.45	4.65	2.97	42.71

ENCLOSURE PRINTOUT ON NOVEMBER 19, 1982 AT 13 29 44

POURDPCIVIL*PHILMAC(1).DATE(1)

ANCHO ESPESOR RADIO AREA RZ RZ PESO

 * CAPACIDADES ULTIMAS DE ANGULOS * ACERO ALTA RESISTENCIA * ***** ELABORO *****
 * A TENSION Y COMPRESION AXIAL * ** Fy=4000.KG/CM2 ** * J.J.CAMARENA H. *
 * CON REDUCCION DE ESFUERZOS POR * RELACION DE ESBELTEZ MAXIMA * * A.MILLAN PONCE. *
 * PANDEO LOCAL (SEGUN Z-Z Y X-X) * ***** KL/P=250 ***** * *****

ANG. ESP.	TENS.	A	DE EJE	L O N G I T U D E S	E F E C T I V A S	D E	P A N D E O															
		W	PX	65.	70.	75.	80.	85.	90.	95.	100.	110.	120.	130.	140.	150.	160.	170.	180.	190.	200.	
2.5X4MM	19.5	4.88	1.27	Z-Z	13.6	13.4	13.1	12.9	12.6	12.2	11.9	11.5	10.8	9.9	9.0	8.1	7.0	6.2	5.5	4.9	4.4	4.0
	18.5	3.83	1.98	X-X	14.5	14.4	14.3	14.2	14.1	14.0	13.8	13.7	13.4	13.0	12.7	12.2	11.8	11.3	10.9	10.3	9.8	9.2
2.5X3/16	23.2	5.81	1.24	Z-Z	19.4	18.9	18.4	17.9	17.3	16.7	16.1	15.4	13.9	12.3	10.6	9.2	8.0	7.0	6.2	5.5	5.0	4.5
	22.0	4.61	1.98	X-X	21.3	21.0	20.8	20.6	20.3	20.1	19.9	19.6	19.0	18.4	17.7	17.0	16.2	15.4	14.5	13.5	12.5	11.5
2.5X1/4	30.7	7.68	1.24	Z-Z	26.5	25.9	25.1	24.4	23.8	22.7	21.8	20.8	18.7	16.4	14.1	12.1	10.6	9.3	8.2	7.3	6.6	5.9
	29.0	6.10	1.96	X-X	29.0	28.8	28.5	28.2	27.8	27.5	27.1	26.7	25.9	25.0	24.0	22.9	21.8	20.5	19.2	17.8	16.4	14.8

ANG. ESP.	TENS.	A	DE EJE	L O N G I T U D E S	E F E C T I V A S	D E	P A N D E O															
		W	PX	210.	220.	230.	240.	250.	260.	270.	280.	290.	300.	310.	320.	330.	340.	350.	360.	370.	380.	
2.5X4MM	19.5	4.88	1.27	Z-Z	3.6	3.3	3.0	2.7	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	1.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	18.5	3.83	1.98	X-X	8.6	7.9	7.3	6.7	6.2	5.7	5.3	4.9	4.6	4.3	4.0	3.8	3.5	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7
2.5X3/16	23.2	5.81	1.24	Z-Z	4.1	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	1.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	22.0	4.61	1.98	X-X	10.4	9.5	8.7	8.0	7.3	6.8	6.3	5.8	5.5	5.1	4.8	4.5	4.2	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2
2.5X1/4	30.7	7.68	1.24	Z-Z	5.4	4.9	4.5	4.1	3.8	3.5	3.3	3.0	2.8	2.6	2.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	29.0	6.10	1.96	X-X	13.5	12.3	11.2	10.3	9.5	8.8	8.1	7.6	7.1	6.6	6.2	5.8	5.5	5.1	4.8	4.6	4.3	4.1

ANG. ESP.	TENS.	A	DE EJE	L O N G I T U D E S	E F E C T I V A S	D E	P A N D E O															
		W	PX	390.	400.	410.	420.	430.	440.	450.	460.	470.	480.	490.	500.	510.	520.	530.	540.	550.	560.	
2.5X4MM	19.5	4.88	1.27	Z-Z	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	18.5	3.83	1.98	X-X	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
2.5X3/16	27.2	5.81	1.24	Z-Z	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	22.0	4.61	1.98	X-X	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
2.5X1/4	30.7	7.68	1.24	Z-Z	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
	29.0	6.10	1.96	X-X	3.9	3.7	3.5	3.4	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

