



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ACATLAN"

"DISEÑO DE UNA TORRE DE SUSPENSION AUTOSOPORTADA DE ALTA TENSION"

MEMORIA DE DESEMPEÑO P R O F E S I O N A L

QUE PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:
I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :
JOSE MANUEL RESENDIZ TAPIA

ASESOR DE TESIS:
ING. CARLOS ARCE LEON

ABRIL 2004.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Dedico:

A Dios Padre

*Por iluminar mi camino no dejándome desfallecer
aun en los momentos más difíciles.*

A mis padres: Guillermo y Candelaria

*Por darme la oportunidad de estudiar,
por su apoyo comprensión por la confianza
que han depositado en mí.*

A mis hermanos: Ángel, Rita y Lucio

Por el ejemplo del estudio y buenos consejos.

A mis pequeñas hermanas: Guadalupe, Patricia y Gabriela

Por la confianza y apoyo depositado en mí.

A todos mis queridos sobrinos,

Deseando que este trabajo sea un ejemplo.

A mis tías: Inés, Concepción y Carmen

Por el apoyo que me han brindado

*A cada amigo y colega que me ha apoyado
alentándome a titularme*

Manuel

A Brenda

*Por su apoyo y comprensión para la terminación de
Mi tesis y por compartir tristezas y alegrías.*

Para mi hijo Manuel

*Que ha cambiado mi vida llenándola de alegría
e inspiración para seguir superándome cada día
esperando se sienta orgulloso de su papi*

Agradezco a:

Ing. Ángel Reséndiz

Por su comprensión, cooperación y apoyo

Ing. Rita Reséndiz e Ing. Lucio Reséndiz

Por los consejos y apoyo durante mi carrera.

A mis colegas de ABB México

Por los consejos y apoyo que me han brindado

Ing. Carlos Arce León

Por el asesoramiento a este trabajo.

A mis profesores de la carrera

*Por la transmisión de los conocimientos
básicos para el desarrollo profesional.*

*Que ha cambiado mi vida llenándola de alegría
e inspiración para seguir superándome cada día*

Ringrazio a:

Mauricio Leva

Stefano Villa

Paolo Villa

Alessandro Crespi

Bruno Tessarollo

Giuseppe Bracciale

Nicola Zanini

*E tutti quegli amici e colleghi per le vostre commenti e
osservazioni che mi hanno fatto ampliare la mia
conoscenza nella progettazione di pali per linee elettriche.*

Manuel

CONTENIDO

<i>INTRODUCCIÓN</i>	3
1 GENERALIDADES	4
1.1 Líneas de Transmisión	4
1.1.1 Tipología de las líneas de transmisión.....	5
1.2 Estructuras de transmisión	6
1.2.1 Estructuras (torres).....	6
1.2.2 Conductores.....	11
1.2.2.1 Tipos de conductores.....	11
1.2.2.2 Cable Hilo de Guarda.....	14
1.2.3 Aisladores.....	15
1.2.4 Herrajes.....	16
1.3 Descripción General de la Torre	19
1.3.1 Parámetros Básicos.....	19
1.3.2 Materiales.....	19
1.3.2.1 Espesores mínimos.....	19
1.3.3 Estándares de Diseño.....	20
1.3.4 Esfuerzos admisibles.....	21
1.3.5 Longitudes efectivas de pandeo para miembros.....	22
1.3.6 Conexiones.....	24
1.3.7 Análisis Elástico - Programa.....	25
1.3.8 Configuración geométrica.....	25
2 ESTUDIOS DE NIVELES Y DISTANCIAS ELÉCTRICAS	27
2.1 Estudio de niveles y extensiones de cuerpo	27
2.1.1 Requerimientos eléctricos de la torre.....	27
2.1.2 Flechas y tensiones.....	29
2.1.3 Distancia de fases.....	32
2.1.4 Definición de niveles.....	33
2.2 Estructuración de la torre	34
3 CARGAS DE DISEÑO	39
3.1 Viento	39
3.2 Carga de viento en los conductores	39
3.3 Carga de viento en la torre	39
3.3.1 Viento transversal.....	39
3.3.2 Viento diagonal.....	40
3.4 Condiciones de carga	40
3.4.1 Condición de carga normal.....	40
3.4.2 Condición de carga excepcional – Ruptura de cable.....	40
3.4.3 Construcción y Mantenimiento (condiciones de tensado).....	41
3.5 Calculo de cargas	42
4 RESUSLTADOS DEL ANÁLISIS ELASTICO	50
4.1 Geometría de la Torre (para la máxima altura)	50
4.1.1 Diagrama de Nudos.....	50
4.2 Cargas aplicadas	53
4.2.1 Factor de arrastre C.....	53
4.2.2 Carga de viento en la torre (máxima altura).....	56
4.3 Lista de cargas aplicadas	60

4.4	Diagramas de cargas.....	64
4.5	Desplazamientos.....	80
5	<i>RESULTADOS DEL DISEÑO</i>	81
5.1	Resumen general de las fuerzas máximas en los miembros.	81
5.2	Esfuerzos admisibles en los miembros de la torre.....	83
6	<i>VERIFICACION MANUAL</i>	89
7	<i>ANCLAJE</i>	94
7.1	Reacciones en los apoyos.....	94
7.2	Diseño del anclaje – Stub.....	95
	<i>Anexo A-1 Coordenadas de nudos (máxima altura)</i>	97
	<i>Anexo A-2 Incidencias de miembros (máxima altura)</i>	100
	<i>Anexo A-3 Mapa de la Ruta de la Línea</i>	107
	<i>Anexo A-4 Reporte de Prueba</i>	108
	<i>CONCLUSIONES</i>	109
	<i>REFERENCIAS</i>	110

INTRODUCCIÓN

La selección del tema de tesis que se presenta a continuación es debida a mi experiencia profesional en el cálculo de torres de alta tensión y desde mi punto de vista personal son estructuras interesantes porque son sometidas a pruebas mecánicas a escala natural; la aplicación de las hipótesis de las cargas son seleccionadas de acuerdo a un criterio establecido por el proyectista y el cliente.

La estructura seleccionada es una torre tipo Delta de suspensión de 110 kV de alta tensión (S1) de circuito único con conductor simple.

En el primer capítulo se describe la importancia de las torres en el trazado de una línea de transmisión de energía eléctrica, además de sus diferentes tipos y usos; así como la descripción general de los parámetros básicos de la torre autosoportada.

Para el segundo capítulo se realiza el estudio de distancias eléctricas con los parámetros eléctricos para la definición de sus dimensiones generales y niveles de la torre así como su estructuración.

En el tercer capítulo se presenta el cálculo de cargas debido al viento y al peso de los cables conductores que se aplicaran en la torre.

En el cuarto y quinto capítulo se presentan del análisis y diseño elástico respectivamente empleando un programa de computadora para obtener los datos del nivel mas alto de la torre.

En el sexto capítulo se presenta la verificación manual de algunos elementos representativos de la estructura.

Para el séptimo capítulo se calcula el anclaje de la estructura con la cimentación, utilizando los esfuerzos máximos de compresión, tensión y cortante, obtenidos de las reacciones en los apoyos de la torre.

Se anexa el mapa de la ruta de la línea así como el reporte de prueba de la torre S1.

Y finalmente se presentan las conclusiones del tema.

1 GENERALIDADES

1.1 Líneas de Transmisión.

Una línea de transmisión eléctrica es un conjunto de estructuras que tiene como finalidad transportar la energía eléctrica en forma confiable y económica desde los centros de generación hasta los lugares de consumo. Existen dos maneras de hacer dicho transporte: en forma subterránea o aérea. La primera sólo se hace a un nivel urbano por su alto costo y la transmisión aérea de energía requiere estructuras de soporte para los cables conductores. Además las líneas de transmisión de energía cumplen con la función de interconexión entre las centrales eléctricas y las subestaciones eléctricas primarias.

Las líneas de transmisión también están destinadas a distribuir la energía eléctrica entre algunos consumidores individuales, en algunas regiones particulares, de manera que dependiendo de la función que cumplan se diseñan para transmitir potencia a distancias largas o cortas, y con distintos niveles de tensión.

En México se construyó la primera línea de transmisión en el año de 1951 con voltaje de 150 kv de doble circuito, de Ixtapantongo a México. En la parte central del país, en el año de 1959 se construye la primera línea de transmisión de 230 kv, de Mazatepec a México.

En la década de los 60's, con el proyecto hidroeléctrico del Infiernillo, sobre el río Balsas, en el estado de Michoacán, se presenta el gran problema de transmitir grandes volúmenes de energía a distancias mayores, siendo así como surge la necesidad de incrementar el nivel del voltaje a 400 kv, en el año de 1964 con la línea de transmisión Infiernillo - México.

La transmisión a distancias grandes son de mayor importancia debido a la capacidad de transmisión de las líneas, es decir a la máxima potencia que puede transmitir, tomando en cuenta todos los factores limitantes. Para la transmisión de la máxima potencia, está dada para los tramos cortos con el límite térmico de los conductores; y para tramos largos es directamente proporcional al cuadrado de su potencia e inversamente proporcional a su distancia (depende de su longitud).

$$P = \frac{V^2}{X}^1$$

V= voltaje (kV)

X= distancia (km)

El uso de transmisión de corriente directa ofrece algunas ventajas técnicas sobre la corriente alterna, debido a que tiene mejores condiciones de operación, desde el punto del sistema mismo al cual se incorporan, por ejemplo, una reducción de niveles de falla; se mejora la estabilidad, existe un mejor control en los flujos de potencia, y en la frecuencia; facilita la interconexión entre área, etc.; pero la transmisión de corriente directa, presenta algunas dificultades técnicas, y también económicas.

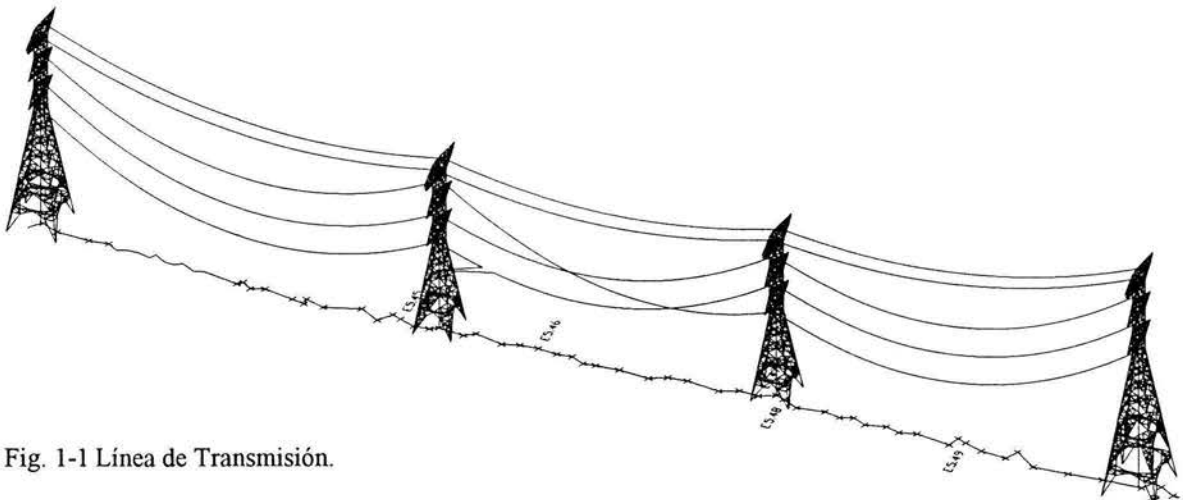


Fig. 1-1 Línea de Transmisión.

¹ Expresión propuesta por el autor de "Fundamentos de Sistemas de Energía Eléctrica" Enriquez Harper.

1.1.1 Tipología de las líneas de transmisión.

Las líneas de transmisión se clasifican de acuerdo a:

- Nivel de tensión.
- Número de fases.
- Número de conductores.
- Configuración del conductor.
- Número de sub-conductores.

- Según el nivel de tensión, la clasificación internacional define:

- Baja tensión 6 kV - 30 kV
- Media tensión 30 kV - 150 kV
- Alta tensión 150 kV - 345 kV
- EHV (extra alto voltaje) 345 kV - 765 kV
- UHV (ultra alto voltaje) > 765 kV

Aunque la clasificación internacional define hasta 150 kV como de Media tensión, en la actualidad arriba de 110 kV se definen como voltaje de Alta tensión.

- Según el número de fases.

- Un circuito
- Dos circuitos
- Combinadas
- Múltiples

- Según la configuración del conductor

En plano

- a) A delta
- b) A delta invertida
- c) A triángulo
- d) Vertical simple y doble cadena

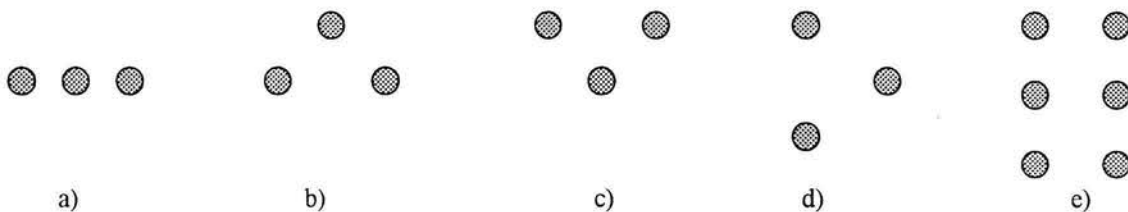


Fig. 1-2 Configuración del Conductor

- Según el número de sub-conductores:

- Conductor simple
- Conductor doble
- Conductor triple
- Conductor cuádruplo
- Conductor múltiple (hasta 12 sub-conductores)

1.2 Estructuras de transmisión

Las líneas aéreas están constituidas principalmente por conductores en aire apoyados en estructuras (torres); y sujetas por medio de aisladores. El aislamiento entre conductores lo proporciona el aire, el aislamiento en los conductores y tierra se obtiene por medio de las cadenas de aisladores.

Las principales componentes de la línea de transmisión son:

- Estructuras (torres)
- Conductores
- Aisladores o aislamientos

1.2.1 Estructuras (torres)

Las torres o estructuras constituyen el soporte mecánico de las líneas de transmisión, y económicamente hablando representan la mayor inversión. En México se construyen principalmente de acero.

En una línea de transmisión existen diferentes tipos de torres de acuerdo a su uso:

- a) Suspensión: éste tipo de torres predominan en cantidad en el diseño de una línea de transmisión, son diseñadas para deflexiones de línea menores a 15°, los conductores son apoyados en cadenas de aisladores en suspensión.
- b) Deflexión o Tensión: éstas se aplican en menor número en cruzamientos y zonas donde se requiera obtener una mayor altura de los conductores o cambios de dirección de la línea; son diseñadas contra torsiones provocadas por la ruptura de más de un conductor y para deflexiones de línea de 10° a 60°; los conductores son sujetados directamente a las mensulas por medio de cadenas de aisladores a tensión en cada fase.
- c) Remate o Terminal: éste tipo de torres se utilizan en las llegadas o salidas de subestaciones eléctricas y deflexiones de la línea mayores a 60°, son diseñadas contra torsiones provocadas por la ruptura de más de un conductor y para deflexiones de 0° a 90°, los conductores son sujetados directamente a las mensulas por medio de una cadena de aisladores a tensión en cada fase.
- d) Transposición: es tipo de torres se utilizan para alternar la posición de los conductores de fase de las líneas de transmisión equilibrando así las pérdidas de carga, se aplican pocas en una línea de transmisión ya que dependen en cierto modo de la longitud total de la misma, generalmente se utilizan torres de suspensión modificadas en las dimensiones de las mensulas para la alternación de la posición de los conductores.

El uso de una torre se determina por los siguientes parámetros:

- Deflexión o Línea de ángulo (Line Angle): es el ángulo máximo de cambio en la dirección de la trayectoria de la línea de transmisión, que permite la torre en estudio sin afectar su estabilidad.
- Claro Básico o Claro Regla (Ruling Span): es el claro promedio calculado bajo la temperatura y la tensión máxima en el conductor, donde la tensión del conductor para éste claro debe ser lo más aproximado a la tensión media en una serie de claros con longitudes variables entre las torres de remate o de tensión. Se utiliza básicamente para el cálculo de plantillas de flechas para la distribución de estructuras en la economía de la línea y en la preparación de las tablas de tensiones. El claro básico para cualquier sección en una línea de transmisión con "n" claros de longitudes L_1, L_2, L_3, L_n , entre estructuras de remate se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{Claro Básico} = \sqrt{\frac{L_1^3 + L_2^3 + L_3^3 + \dots + L_n^3}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}}^2$$

Debido a que el claro básico es el predominante, el cual se utiliza como base para calcular las plantillas de las flechas, este debe ser estimado antes de que se localicen las estructuras.

- Claro de Viento (Wind Span): es la semisuma de los claros adyacentes a la torre y se define como la porción relativa del conductor bajo la acción del viento. Cuando el viento sopla perpendicularmente a la línea, ambos claros se balancean hacia fuera, lejos de las formas simétricas sobre los centros de los

² Propuesta por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

claros; y se utiliza para calcular las cargas transversales que actúan sobre la estructura debidas a la acción del viento sobre los cables.

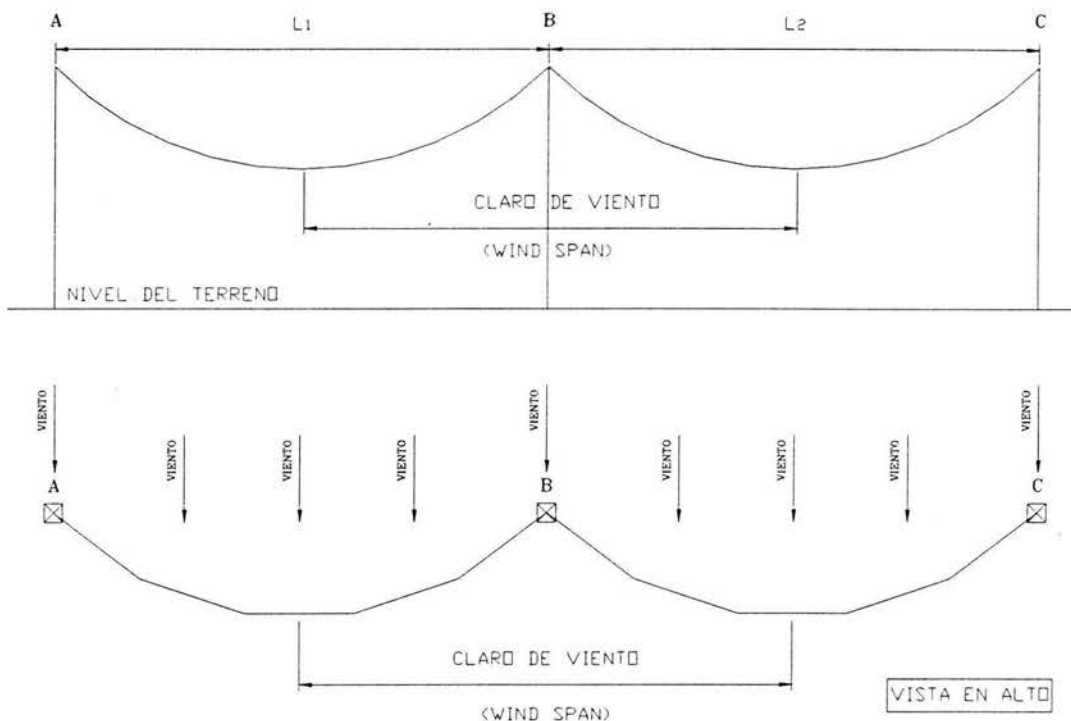


Fig. 1-3 Claro de Viento (vista en alto)

donde el Claro de viento = $\frac{(L_1 + L_2)}{2}$ ³

- Claro Vertical o Claro de Peso (Weight Span): es la suma de las distancias horizontales entre los puntos más bajos de las flechas de los cables y se utiliza para determinar las cargas verticales que actúan sobre la estructura debidas al peso de las cadenas de aisladores, conductores y cables de guarda.

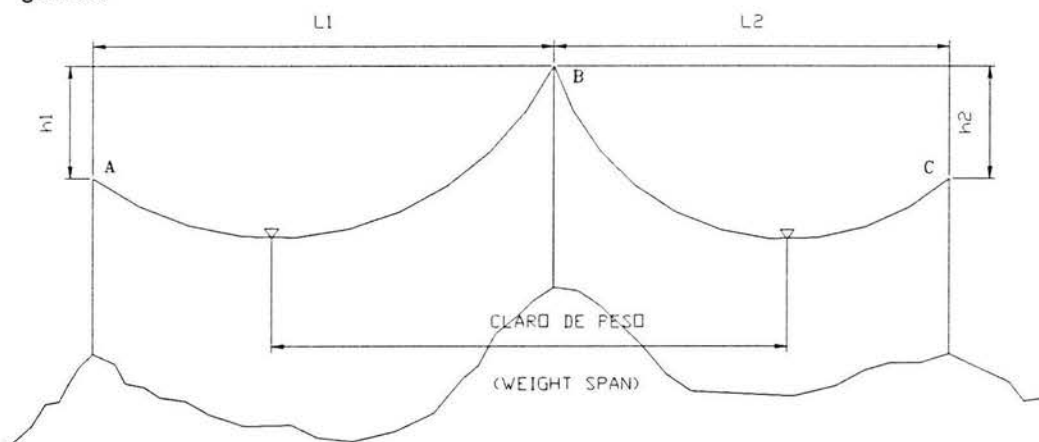


Fig. 1-4 Claro Vertical (vista lateral)

³ Propuesta por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

El claro de peso se determina con la siguiente formula:

$$B = \frac{L_1 + L_2}{2} + P \left(\frac{\Delta h_1}{L_1} + \frac{\Delta h_2}{L_2} \right)^4$$

Donde:

P= es un parámetro en función de la tensión del conductor entre su peso

h= es la diferencia de niveles en la llegada del conductor, es positivo el valor cuando la elevación de la altura en la torre B es mayor que la otra y negativa cuando es menor.

Por su tensión de operación pueden ser de 110 kv a 750 kv, siendo las más comunes en México de 400 kv, 230 kv y 115 Kv o combinadas.

- Por el número de circuitos.

Puede ser de 1, 2, 3 ó 4 circuitos

- Por su condición de apoyo:

- 1) Auto soportadas de celosía (estructurales)
- 2) Auto soportadas tubulares (postes)
- 3) Con retenidas.

1) Torres Auto soportadas con Celosía.

Estas estructuras en México constituyen la mayoría de las estructuras usadas en las líneas de transmisión en alta tensión. Su nombre se debe a que no requiere de apoyos adicionales para trabajar como elementos sujetos a los esfuerzos de tensión y compresión; debidos a cargas de conductores, aisladores y elementos externos como presión de viento, carga de hielo, etc., además del tensando normal para el montaje.

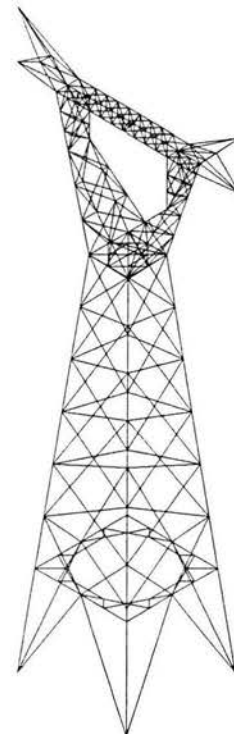


Fig. 1-5 Torre Autosoportada con celosía.

⁴ Propuesta por el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

2) Torres Autosoportadas tipo Tubular (Postes)

Estas estructuras son del mismo concepto de tipo celosía, la diferencia está en que no se construyen como las de celosía con ángulos o perfiles, se utiliza tubo de acero o placas de acero dobladas con forma troncocónica, lo que hace que sean más compactas, sin embargo su costo es superior a igualdad de condiciones de operación; también se diseñan para trabajar en suspensión o a tensión. Su uso está restringido a zonas donde se tiene problemas de disponibilidad de terreno para construir la línea, o por cuestiones de estética, es decir en algunos casos se aplica preferentemente en zonas urbanas con diseños compactos en donde se puede usar también aislamientos sintéticos o aislamientos no convencionales basándose en vidrio o porcelana.

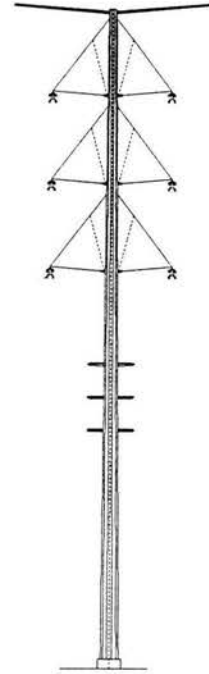


Fig. 1-6 Torre Autosoportada Tubular (Poste)

3) Torres con Retenidas.

Se usan en México con una trabe horizontal sostenida con uno o dos puntos, que trabajan exclusivamente a compresión. En éstas estructuras la estabilidad mecánica se asegura por medio de tirantes (retenidas), con la disposición apropiada.

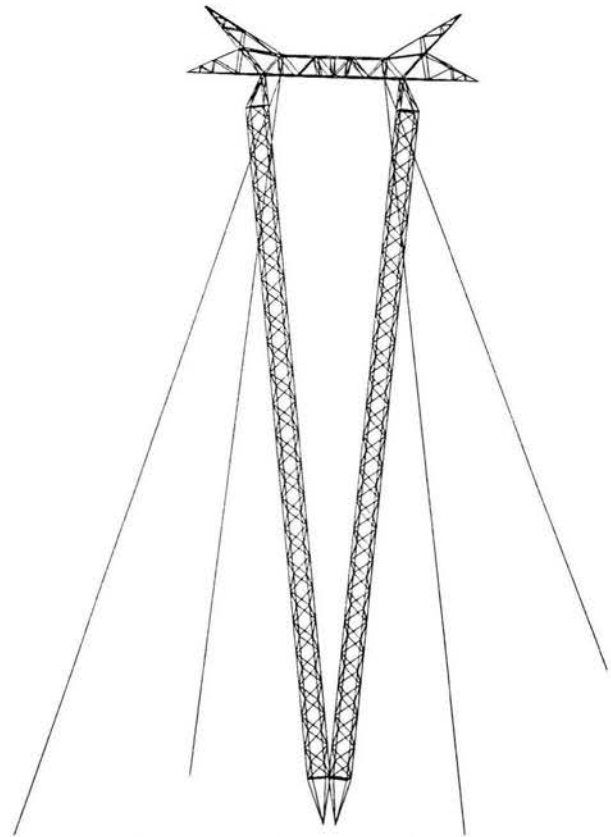
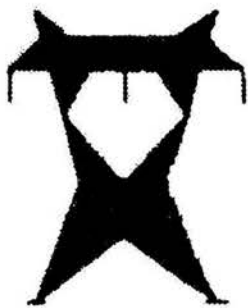
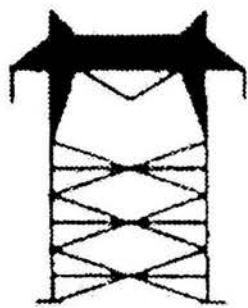


Fig. 1-7 Torre en Celosía con Retenidas

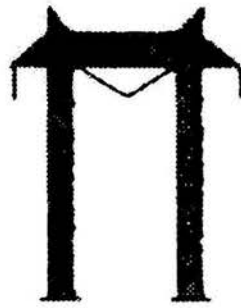
CONFIGURACIONES GEOMETRICAS
DE TORRES AUTO-SOPORTADAS



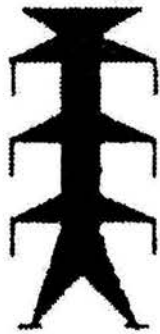
DELTA
CIRCUITO UNICO
CON CADENAS EN "T"



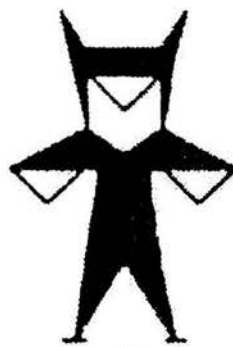
PORTAL CIRCUITO UNICO
COMBINACION DE CADENAS CON
"V" AL CENTRO Y LATERALES EN "T"



PORTAL CIRCUITO UNICO
COMBINACION DE CADENAS CON
"V" AL CENTRO Y LATERALES EN "T"

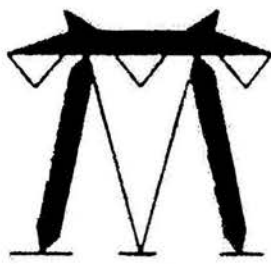


VERTICAL
DOBLE CIRCUITO

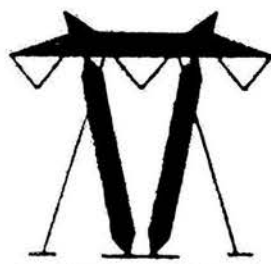


DELTA
CIRCUITO UNICO

Fig. 1-8 Configuración Geométrica de Torres Autoportadas



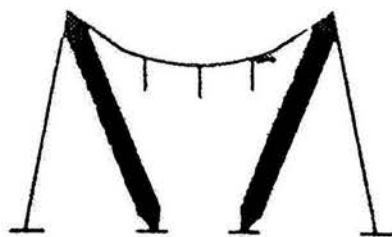
CIRCUITO UNICO CON CADENAS EN "V"
Y RETENIDAS AL CENTRO DE LA TORRE



CIRCUITO UNICO CON CADENAS EN "V"
Y RETENIDAS FUERA DE LA BASE DE LA TORRE



CIRCUITO UNICO CON CADENAS EN "V"



VERTICAL
CIRCUITO UNICO



DELTA
CIRCUITO UNICO

Fig. 1-9 Configuraciones Geométricas de Torres con Retenidas

1.2.2 Conductores.

Los conductores en aire están apoyados en estructuras de acero y como su nombre lo dice se encargan de conducir la energía. Normalmente en México la C.F.E. emplea conductores de tipo ACSR⁵, que están compuestos de una alma de acero, tienen funciones mecánicas principalmente y externamente tienen una o más capas de hilos de aluminio devanadas en forma de espiral. Los calibres de los conductores se seleccionan por capacidad de conducción de corriente, limitados por las pérdidas y caídas de voltaje.

1.2.2.1 Tipos de conductores

Existen varios tipos de conductores actualmente disponibles, algunos de los cuales se utilizan más extensivamente que otros. A continuación se da una descripción de los conductores más utilizados en las líneas de transmisión.

1. Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero ACSR (Aluminium Conductor Steel-Reinforced)
6Al/1S., 18Al./1S. , 36/Al./1S, 12Al/7S. , 26Al. /7S. , 45Al. /7S. , 54Al. /7S. , 54Al. /19S. y 84Al. /19S trenzados:

Este conductor de aluminio con refuerzo en acero hoy es el más comúnmente utilizado; es concéntrico trenzado integrado por unas o más capas del alambre de grado duro de aluminio 1350. Es trenzado con una base de acero galvanizada de alta resistencia y ésta puede ser solo alambre o trenzado dependiendo del tamaño. Debido a las combinaciones numerosas del trenzado de los alambres de aluminio y de acero que pueden ser utilizados, es posible variar las proporciones de éstos para obtener una amplia gama de las capacidades de carga actuales y de las características mecánicas de las fuerzas.

La base de acero se puede equipar con tres diversos pesos de capa de zinc A, B y C. La capa de peso estándar es la capa A y para proporcionar una mayor protección donde están presentes las condiciones corrosivas se requiere una clase de capa B o C, donde la capa C puede ser especificada como la más pesada.

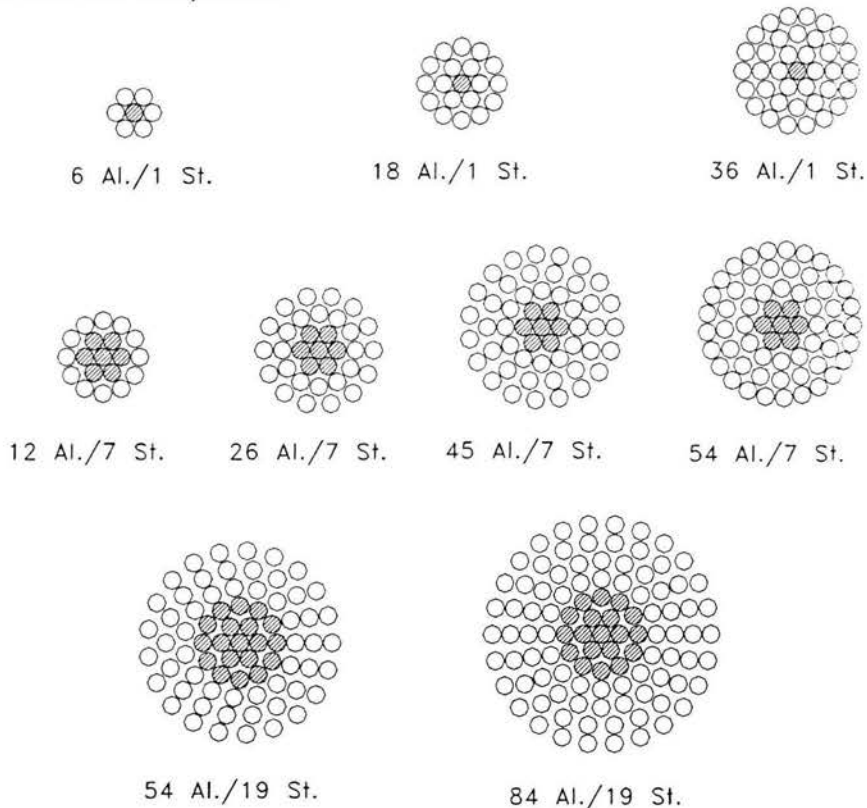


Fig. 1-10 Trenzados Típicos ACSR

⁵ ACSR - Aluminium Conductor Steel-Reinforced

2. Conductores de Aluminio con Base de Acero ACSR/AW (Aluminium Conductor, Aluminium-Clad Steel Reinforced).

Este tipo de conductor es similar al ACSR; los alambres de la base son de acero de alta resistencia revestido de aluminio, con espesores mínimos de aluminio del 10 por ciento del radio nominal del alambre, proporciona una mayor protección contra la corrosión de los otros tipos de alambres de acero, haciéndolo aplicable para el uso en áreas donde son severas las condiciones corrosivas.

Sin embargo, tiene una resistencia perceptiblemente más baja que el alambre de acero galvanizado de la base.

3. Conductores de Aluminio Grado 1350 (1350 Aluminum Conductors):

Estos conductores se componen de filamentos de aluminio grado 1350. Es generalmente menos costoso que otros conductores, pero es menos resistente y no tiene para ceder más. Es el más útil donde están las cargas eléctricas pesadas, donde los claros son cortos y las cargas mecánicas son bajas.

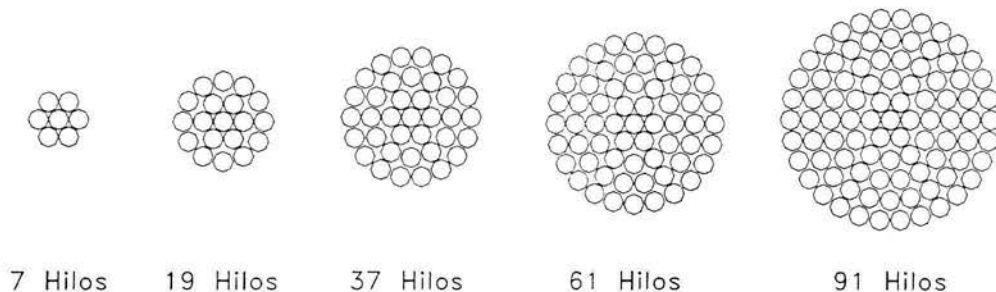


Fig. 1-11 Conductor de Aluminio 1350

4. Conductor de Aleación de Aluminio AAAC-6201 (All Aluminum Alloy Conductor –6201 Alloy):

Este tipo de conductor está compuesto por alambres de aleación de aluminio 6201-T81 de alta resistencia trenzados concéntrica mente; son de construcción similar y apariencia al Conductor 1350 Aluminio, su resistencia es comparable con el de ACSR.

Fue desarrollado para cubrir la necesidad de un conductor de alta resistencia obtenible de los conductores 1350 de aluminio, pero sin una base de acero; son fabricados en diámetros iguales que los de tamaño estándar y trenzados de ACSR. La resistencia de los conductores 6201 y ACSR's estándar de los mismos diámetros son aproximadamente iguales. Este conductor puede ser utilizado donde hay problemas de contaminación y corrosión de los alambres de acero, además ha demostrado ser algo más susceptible a los problemas de la vibración que los conductores estándares de ACSR empleado en la misma tensión. Se debe evitar la utilización de conductores de dimensiones menores de 3/0 ACSR o equivalentes, en estructuras de suspensión porque el peso ligero del conductor puede dar lugar a fuerzas inadecuadas en los aisladores de la suspensión, causando ruido de radio y problemas de oscilación del aislador.

5. Conductor de Aluminio Reforzado ACAR (Aluminum Conductor Alloy Reinforced):

Este tipo de conductor de aleación de aluminio reforzado, consiste en filamentos de aluminio de aleación 1350, reforzados por una base y/o distribuidos de alambres de alta resistencia de una aleación 6201. La aleación 6201 de alambres del refuerzo en ACAR se puede utilizar en cantidades que varían, casi cualquier característica deseada de resistencia-conductividad entre las construcciones usando alambres con aleación 1350, y los alambres con aleación 6201 puede ser utilizados. La fuerza característica de ACAR está entre las de un conductor 1350 del aluminio y un conductor 6201.

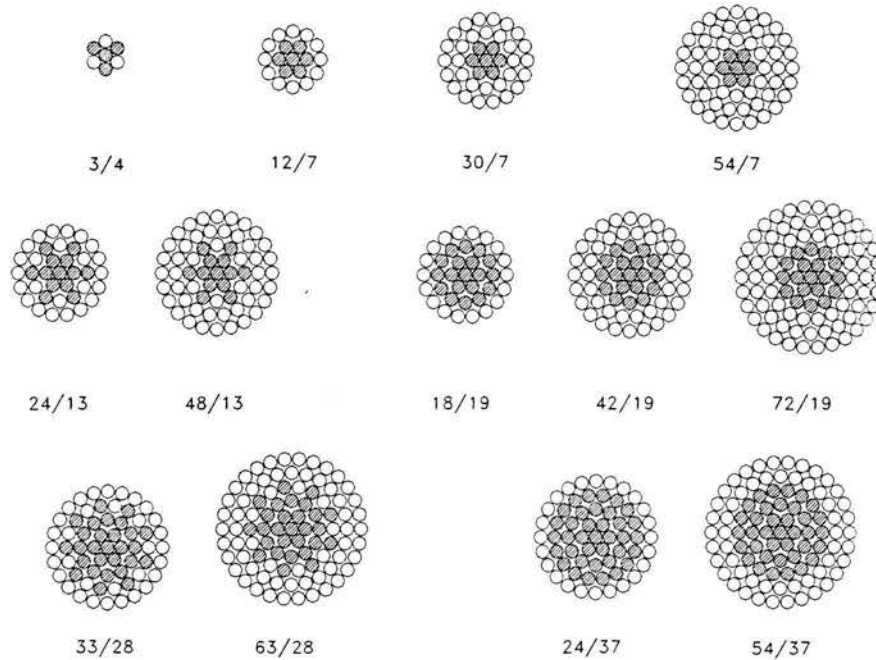


Fig. 1-12 Conductor ACAR - Arreglos de Trenzados

6. Conductor de Acero Revestido de Aluminio AWAC (Aluminium-Clad Steel Conductor).

Este conductor se compone de acero revestido de aluminio y es trenzado con aluminio 1350; tienen un diámetro levemente más pequeño que el ACSR estándar. Para tamaños más pequeños de AWAC, el radio de aluminio-revestido en los filamentos de aluminio se varía para proporcionar una amplia gama de resistencias.

7. Conductor de Aluminio con Refuerzo de Acero ACSR/SD (Aluminum Conductor Steel Reinforced – Self Damping):

Este tipo de conductor especial ha estado en el uso moderado extenso por varios años. De forma concéntrica, trenzado integrado por dos capas de alambres de forma trapezoidal o dos capas de alambres de forma trapezoidal y una capa de alambres redondos de aluminio aleación 1350 trenzado con una base de acero; la base puede ser un solo alambre o trenzado dependiendo del tamaño.

De un punto de funcionamiento, el conductor es igual que el convencional ACSR excepto que este sea amortiguador de uno mismo; es decir, éste se diseña para limitar la vibración eólica a un nivel seguro que al amortiguar ocurre debido a la interacción entre las dos capas trapezoidales y entre las capas trapezoidal y la base. Hasta la fecha, la experiencia con este tipo de conductor ha sido generalmente buena. Realiza un trabajo satisfactorio de amortiguamiento fuera de la vibración eólica, algunas consideraciones especiales que se asocian a este conductor son (1) durante el tensado, se debe tomar especial precaución y seguir los procedimientos para evitar dificultades, y (2) es más costoso por peso que el convencional ACSR, pero su capacidad de ser tensado en tensiones más altas puede dar lugar a las ventajas económicas que compensan su costo adicional.

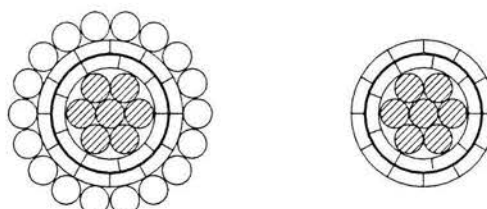


Fig. 1-13 Trenzado Típico de Conductor ACSR/SD

8. Conductor de Aleación Aluminio con Refuerzo de Acero AACSR (Aluminum Alloy Conductor, Steel Reinforced)

Este tipo de conductor es igual que un convencional ACSR excepto que los filamentos de aluminio 1350 son remplazados por filamentos de alta resistencia en aleación 6201. La mayor resistencia que resulta del conductor permite que las flechas sean disminuidas sin exceder los límites de la tensión en porcentos del conductor estándar, se utiliza sobre todo en la travesía del río donde las limitaciones de la flecha y las tensiones son importantes. Las tensiones altas asociadas a este tipo de conductor requieren de atención especial por la posibilidad de vibración eólica.

Los calibres de conductores normalmente utilizados en líneas de transmisión de la C.F.E en México son los siguientes:

- En 400 kv: 2 x 1113 KCM
- En 230 kv: 1 x 900 KCM; 1 x 795 KCM; 1 x 1113 KCM
- En 115 kv: 1 x 477 KCM; 1 x 795 KCM.

A continuación se presentan las características generales del conductor empleado en la línea Gurue-Cuamba-Lichinga (Mozambique):

Características generales del conductor de Wolf-ACSR. :

Características de cables	Unidades	Valores
Designación comercial		Wolf
Descripción corta	Cable ACSR	
Área de la sección total	mm ²	194.88
No. de alambres de acero	Alambres	7
No de alambres de aluminio	Alambres	30
Diám. de cada hilo de acero	Mm	2.59
Diám. de cada hilo de aluminio	Mm	2.59
Diám. externo total	Mm	18.13
Resistencia a la ruptura	N (kg)	69200 (7055)
Peso aproximado	Kg/m	0.726
Módulo de elasticidad inicial	Kg/mm ²	6322
Módulo de elasticidad final	Kg/mm ²	8260
Coefficiente de expansión de temperatura	10 ⁻⁶ /°C	17.8
Coefficiente de dilatación lineal final	10-6/°C	20.80
Resistencia eléctrica a 20°	Ω/km	0.1828

1.2.2.2 Cable Hilo de Guarda.

Este tipo de cable se conecta en las crucetas de Hilo de Guarda en la parte superior de las torres y tiene funciones principales en telecomunicaciones.

Aun no existe un catálogo estándar como con los cables conductores, ya que existe una gran variedad de este tipo, lo que resulta que cada país fabrique una gran variedad, y por lo general en cada proyecto quien suministra el cable conductor suministra el cable Hilo de Guarda y las características de este tipo de cable son proporcionadas por el cliente, de acuerdo a las necesidades de la línea de transmisión.

En la actualidad se emplean dos tipos de conductores para el cable de hilo de guarda, los anteriores descritos en dimensiones menores y el de fibra óptica.

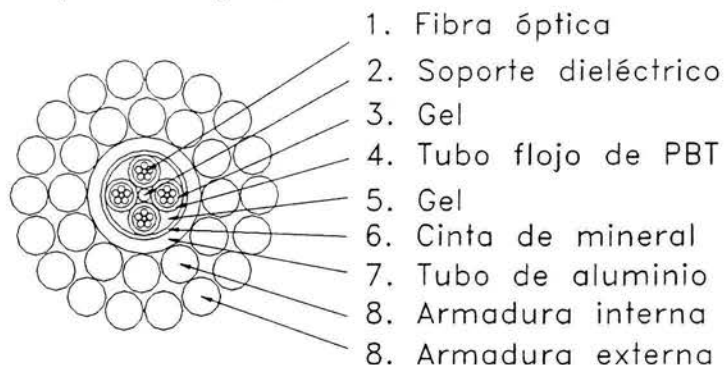


Fig. 1-14 Composición del Cable de Fibra Óptica

1.2.3 Aisladores.

Los aisladores constituyen el punto mecánico de soporte de los conductores en las torres y postes; cumpliendo además con la función de proporcionar el aislamiento requerido entre conductores y estructura proporcionando la distancia eléctrica en el aire.

Normalmente los aisladores para las líneas de transmisión aéreas son de vidrio o de porcelana en forma de discos, para formar cadenas o rígidos, también se emplean de fibra de vidrio o de plástico.

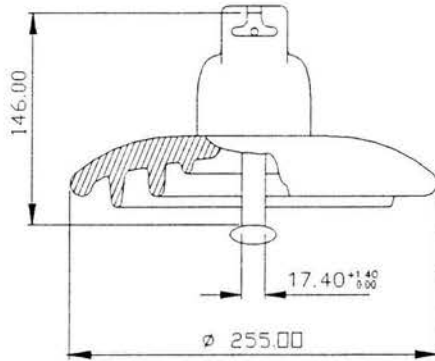


Fig. 1-15 Aislador Tipo

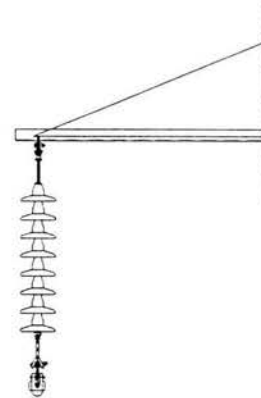


Fig. 1-16 Cadena de Aisladores en Suspensión

Debido a que los aisladores de una línea de transmisión constituyen el elemento mecánico de soporte, la confiabilidad de éstos depende en gran parte del buen funcionamiento mecánico con los herrajes, por tal se debe verificar su compatibilidad con éstos, además de revisar las especificaciones sobre los siguientes factores:

- Tipo de acoplamiento. (de bola y rótula)
- Carga electromecánica en Kg, o libras.
- Carga de prueba a tensión. (Kg)
- Prueba de carga – tiempo. (kg)

Características generales del aislador de vidrio utilizado para este proyecto.

CONCEPTO	UNIDAD	AISLADOR NORMAL DE VIDRIO TEMPLADO
Paso del aislador	mm	146
Diámetro exterior de la falda del aislador	mm	254
Distancia mínima de fuga	mm	279
Factor de forma		1.91
Resistencia combinada electromecánica	N	111200 (11340)
Resistencia al impacto	n-cm (kgf-cm)	700 (69)
Resistencia a la tensión durante 3 seg.	N (kgf)	55600 (5670)
Resistencia de carga sostenida de campo	N (kgf)	66700 (6804)

1.2.4 Herrajes.

Los herrajes son elementos de unión de los conductores con los aisladores y estos con la estructura o torre. Estos elementos son de gran importancia ya que es la parte de gran confiabilidad de una línea de transmisión en su conjunto, especialmente en líneas de transmisión largas con distancias entre torres de claros grandes considerando el uso de un conductor por fase; como el caso de la línea Gurue-Cuamba-Lichinga, a la que pertenece la torre S1.

Debido a la experiencia en operación y construcción de líneas de transmisión, se han fabricado distintos tipos de herrajes y accesorios, necesarios para la construcción de las líneas eléctricas como los que se presentan en la figura 1-17 y 1-20.

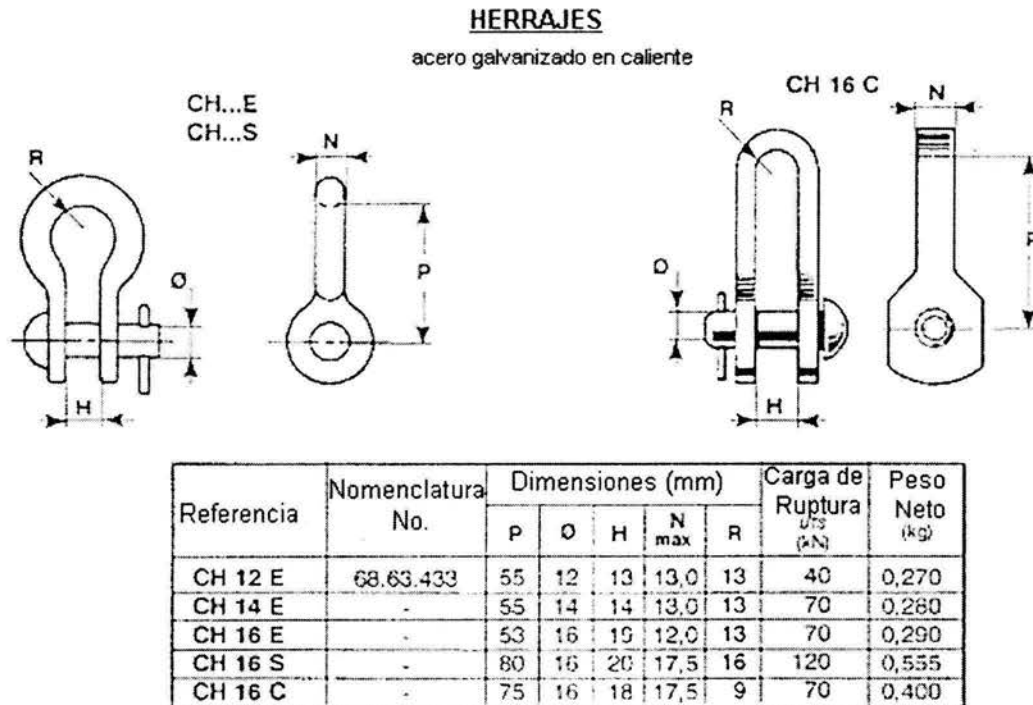


Fig. 1-17 Herrajes (Shackles)

Para el caso de la torre S1, la sujeción de la cadena de suspensión con la estructura se utilizó un herraje tipo Shackles de 16 mm de diámetro, él cuál fue indicado en los planos de montaje como se muestra en la figura 1-18.

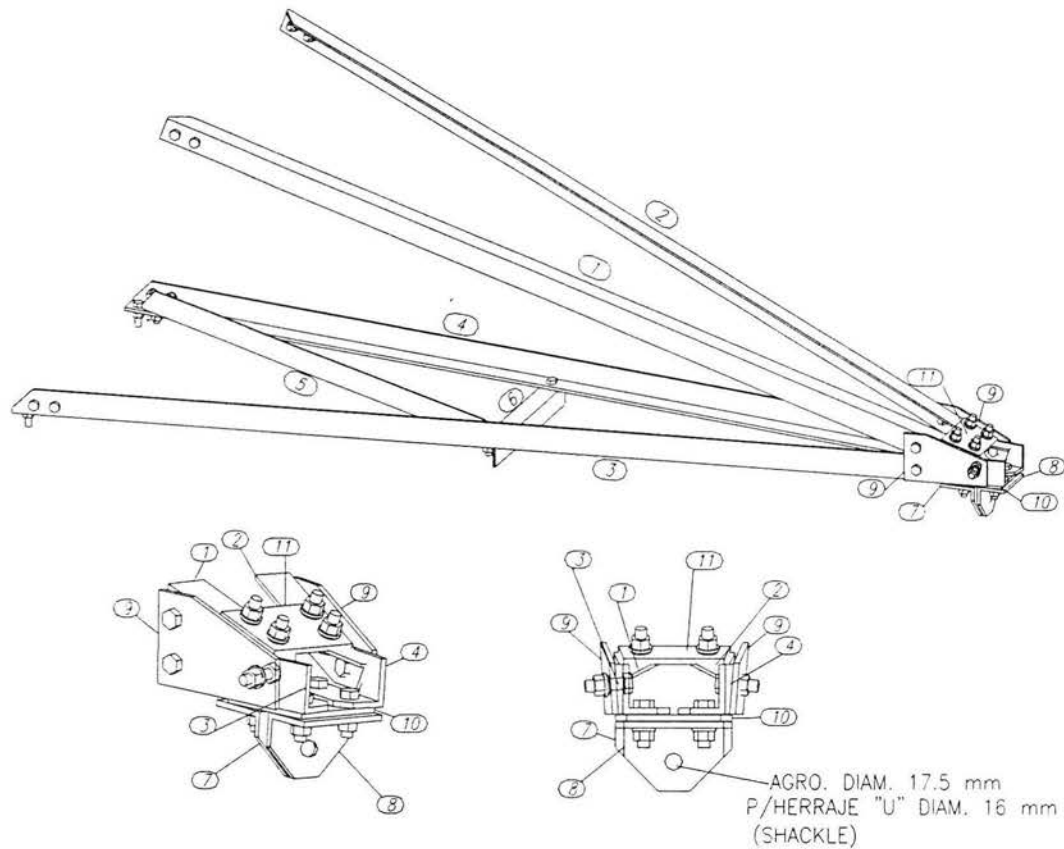


Fig. 1-18 Indicación del tipo de herraje a utilizar

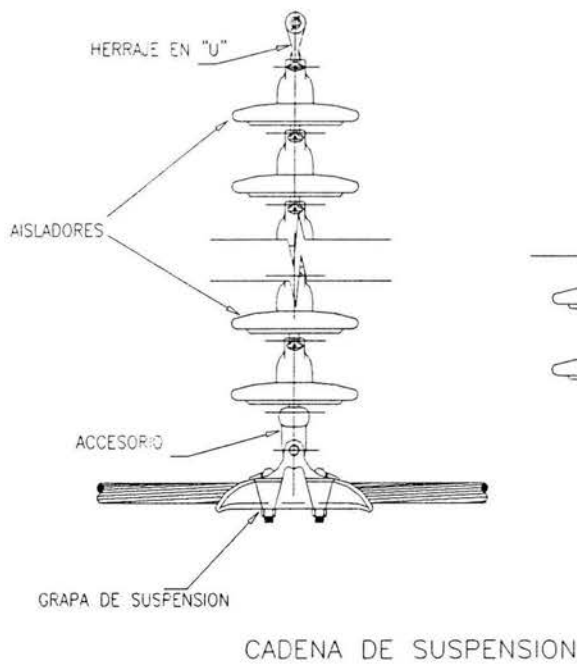


Fig. 1-19 Ensamble en Cadena de Suspensión

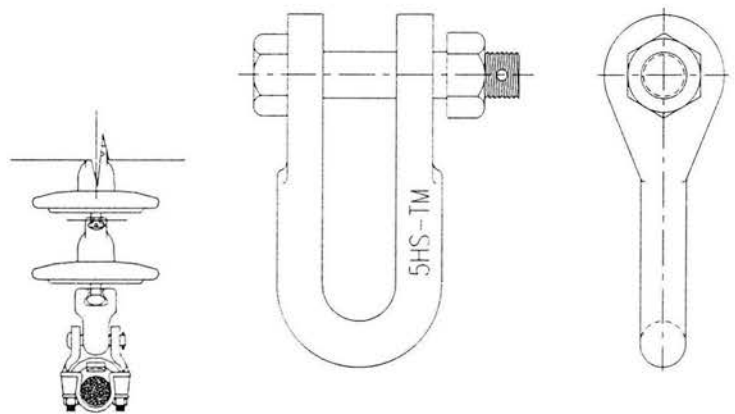


Fig. 1-20 Herraje en "U" (U-bolt)

Para fines del proyecto y construcción de líneas de transmisión se dispone de información detallada por parte de los fabricantes de herrajes y accesorios, y por lo general las empresas eléctricas disponen de especificaciones normalizadas, en donde se especifican las características idóneas de los materiales para cumplir con las solicitudes mecánicas y los problemas de corrosión, ya que en cada caso los materiales deben de ser de gran calidad y composición química, claramente especificada.

Las características mecánicas de los herrajes, se refieren a la carga mínima de ruptura a la tensión del conductor, a la cual se van a destinar de esta manera los arreglos para suspensión simple o múltiple, deben de presentar una carga de ruptura respectivamente del 60% y del 80% de la carga mínima de ruptura del conductor a la tensión. Los arreglos de remate sencillos en un 110% y los arreglos de remate doble un 130% de la misma carga.

Los materiales que constituyen los herrajes deben de ser por si mismos resistentes a la corrosión provocada por los agentes atmosféricos, lo cual se puede lograr por medio de un tratamiento superficial conveniente (recubrimiento de zinc, cromado, anodizado, recubrimiento de cadmio o algún otro tipo de tratamiento), todas las partes metálicas no resistentes a la corrosión y para los cuales no resulta aplicable el revestimiento protector, se debe recubrir convenientemente con grasas neutras.

Para conductores de cobre se pueden usar herrajes de cobre-níquel o acero cromado pero nunca de acero galvanizado.

En conductores que llevan acero galvanizado no se deben usar conectores de cobre, mientras que los de acero y aluminio galvanizado (ACSR⁶) el comportamiento es óptimo debido a que los metales, aluminio y zinc son contiguos en la serie electroquímica, en este caso los herrajes deben de ser fabricados en aluminio o de acero galvanizado.

⁶ ACSR - Aluminium Conductor Steel-Reinforced

1.3 Descripción General de la Torre

La torre S1 es una estructura auto-soportada tipo *Delta con cadenas en I*, tiene el cuerpo formado por tramos tronco piramidales de sección cuadrada y la cabeza con tramos prismáticos fabricada de perfiles galvanizados por inmersión en caliente, atornillados entre sí, ésta estructura es de suspensión de 110 kV de alta tensión, con una deflexión de 0°-1°, tiene como característica que no requiere crucetas de hilo de guarda, ya que solo en los primeros y en los últimos 5 km de la línea se requiere de crucetas de hilo de guarda, la torre de suspensión S1 es una de las más importantes de la línea, ya que a cantidad, la S1 se requieren alrededor de 933 torres de este tipo por lo que resulta ser la mas numerosa por que representa el 90% del total de torres en la línea y debido al resultado⁷ optimo de la prueba a escala natural de la torre S1 ha influido para no realizar las pruebas de los 3 tipos de torres restantes por lo que el cliente solo requirió el armado de prototipo a escala natural para el resto.

La línea de 110 kV S.C.; Gurue-Cuamba (100 km) y Cuamba-Lichinga (235 km), Mozambique a la que pertenece la torre de suspensión S1 está compuesta principalmente de 4 tipos de torres en sus 335 km⁸, dos de suspensión (S1 y S2) y dos de tensión (T1 y T2) la cual una de estas últimas de este tipo servirá como terminal.

1.3.1 Parámetros Básicos

Tensión Nominal	110	kV
Tensión Máxima	123	kV
Número de Circuitos	1	
Número de conductores por fase	1	

1.3.2 Materiales

En los perfiles y placas de acero laminado se emplea solo un tipo de calidad de acero S275-JR definido en las normas BS/EN 10027 (normas europeas), o equivalentes, ya que la fabricación en serie de las torres será en Europa.

Perfiles y placas:

– Punto de Fluencia	Fy =	2805	Kg/cm ²
– Resistencia a la Rotura	Fu =	4380	Kg/cm ²
– Resistencia al aplastamiento	Fb =	5040	Kg/cm ²

Tornillos calidad ASTM A-325 clase 0 o equivalente:

Punto de Fluencia	Fy=	6475	Kg/cm ²
Resistencia a la Tensión	Ft=	8412	Kg/cm ²
Resistencia al corte ⁹	Fv=0.6 x Fy =	3885	Kg/cm ²
Resistencia al aplastamiento ¹⁰	Fb= Ft x 1=	8412	Kg/cm ²

1.3.2.1 Espesores mínimos.

Los espesores mínimos utilizados en miembros de acero de la torre son:

– Miembros principales y mensulas en compresión	6 mm
– Elementos con tensiones calculadas	5 mm
– Miembros embebidos en concreto (Subs.-anclaje)	6 mm
– Redundantes con esfuerzos calculados	4 mm
– Placas de conexión	6 mm
– Mínimo diámetro del tornillo	12 mm
– Diámetro de los tornillos para escalones	20 mm

⁷ ver Anexo A2 Certificado de Prueba página 108.

⁸ ver Anexo A1 Mapa de la Ruta de la Línea, página 107.

⁹ los valores al aplastamiento se consideraron de acuerdo a las especificaciones técnicas.

¹⁰ Idem ⁹

1.3.3 Estándares de Diseño

Los estándares de diseño utilizados, fueron aplicados y están de acuerdo a los requerimientos de las especificaciones técnicas del proyecto de la línea de 110 kV S.C., Gurue-Cuamba-Lichinga, Mozambique, en la cual se hace referencia a cada uno de los estándares a utilizar:

- BS/EN10027¹¹, estándar europeo de materiales rolados en caliente, perfiles y placas de acero.
- ASTM¹² A 325, estándar del tipo de tornillo y tuerca utilizado
- ASTM¹³ A 123 – 153, estándar para el proceso de galvanización del producto terminado.
- Memoria Técnica Doc. No. AHSZ001, la cual es desarrollada en base a las Especificaciones Técnicas del proyecto.
- ASCE/ANSI¹⁴ 10-97 y al estándar ASCE No. 52 " Guide for Design of Steel Transmission Towers", son utilizados para el diseño de la estructura, miembros estructurales y conexiones.
- En la construcción y en trabajos de mantenimiento: se diseñarán todos los miembros que forman un ángulo hasta 30° con la horizontal considerando el peso de un hombre de línea para soportar una carga vertical última de 153 Kg (independiente de las otras cargas), colocado en el punto que produzca la flexión más grande en el miembro; a continuación se presenta la tabla de capacidades de miembros redundantes¹⁵:

Capacidad de miembros redundantes									
P (kg)	Fy (kg/cm2)	Máxima Esbeltez	Dimension del miembro			R min	W	Max L por Flexión	Max L por pandeo
153	2805	250	40	40	3	0.78	1.18	87	195
153	2805	250	40	40	4	0.78	1.55	114	195
153	2805	250	45	45	3	0.88	1.49	109	220
153	2805	250	45	45	4	0.87	1.97	144	218
153	2805	250	45	45	5	0.87	2.43	178	218
153	2805	250	50	50	3	0.98	1.86	136	245
153	2805	250	50	50	4	0.98	2.43	178	245
153	2805	250	50	50	5	0.97	3.05	224	243
153	2805	250	60	60	4	1.19	3.64	267	298
153	2805	250	60	60	5	1.18	4.48	329	295
153	2805	250	60	60	6	1.17	5.29	388	293

- Los miembros redundantes son capaces de soportar una fuerza axial de 2.5 por ciento de la carga a compresión máxima computada en el miembro principal.

¹¹ BS/EN 10027 – British Standard/Euronorm 10027

¹² ASTM – American Steel Test Material

¹³ Idem. ¹²

¹⁴ ASCE/ANSI 10-97 – American Steel Civil Engineers/American National Steel Institute 10-97

¹⁵ ver 1.3.4

1.3.4 Esfuerzos admisibles.

Los esfuerzos en los elementos de la torre son calculados de acuerdo al estándar americano ASCE 10-97:

- Compresión

$$\text{Si } \frac{KL}{r} \leq C_c \quad F_a = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2 \right] F_y \quad \text{Ecuación 1-1 ASCE 10-97 (3.6-1)}$$

$$\text{Si } \frac{KL}{r} > C_c \quad F_a = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1-2 ASCE 10-97(3.6-2)}$$

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1-3 ASCE 10-97 (3.6-3)}$$

Donde:

L= longitud efectiva r= radio de giro
Fy= fluencia del material E= modulo de elasticidad

Pero el cociente $\frac{W}{t}$ no debe exceder de 25, donde W es el ala del ángulo y t es el espesor, en caso contrario, los valores de Fy deben ser remplazado por F_{cr}:

Fy en Ksi (kilo libras sobre pulgadas cuadradas)
2.62= factor de conversión para Fy en Mpa.

$$\left(\frac{W}{t} \right) \text{lim} = \frac{80\psi}{\sqrt{F_y}} \dots\dots\dots \text{para } \psi = 1 \quad \text{Ecuación 1-4 ASCE 10-97(3.7-1)}$$

$$\frac{80\psi}{\sqrt{F_y}} < \frac{W}{t} < \frac{144\psi}{\sqrt{F_y}} \dots\dots\dots F_{cr} = \left[1.677 - 0.677 \frac{W/t}{\left(\frac{W}{t} \right) \text{lim}} \right] F_y \quad \text{Ecuación 1-5 ASCE 10-97(3.7-2)}$$

$$\frac{W}{t} > \frac{144\psi}{\sqrt{F_y}} \dots\dots\dots F_{cr} = \frac{0.0332\pi^2 E}{\left(\frac{W}{t} \right)^2} \quad \text{Ecuación 1-6 ASCE 10-97(3.7-3)}$$

- Tensión.

Para miembros con cargas concéntricas a tensión conectados en ambas alas del ángulo, será el producto de Fy por el área neta A_n de la sección transversal, y para miembros conectados en una ala del ángulo, será el producto anterior afectado por 0.9, donde el área neta es el área total transversal de la sección A_g menos la pérdida de área de los agujeros:

$$A_n = A_g - (\phi_{agro}) * t * n^{\circ} \text{de tornillos} \dots\dots\dots Ft = A_n F_y$$

donde t=espesor del ángulo

Si hay una cadena de agujeros en una diagonal o una línea en zig-zag, la anchura neta de un elemento será determinada, deduciendo de la anchura gruesa la suma de los diámetros de los agujeros en la cadena y la adición para cada espacio en la cadena de $\frac{s^2}{4g}$, donde s = espaciamiento longitudinal (paso) y g= espaciamiento transversal de cualquier de dos agujeros consecutivos. El área seccionada transversalmente neta crítica, se obtiene de esta cadena menos la anchura neta:

$$A_n = A_g - \sum \phi_{agro} t + \sum \frac{s^2}{4g}$$

1.3.5 Longitudes efectivas de pandeo para miembros:

- En patas atornilladas en las dos alas en conexiones:

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} \dots\dots\dots 0 \leq \frac{L}{r} \leq 150 \quad \text{Curva 1}$$

Relación de esbeltez entre 0 a 120 para otros miembros a compresión con:

- Carga concéntrica en ambos extremos del panel no soportado lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} \dots\dots\dots 0 \leq \frac{L}{r} \leq 120 \quad \text{Curva 1}$$

- Carga concéntrica en un extremo y excentricidad normal a la armadura en el otro extremo del tramo no soportado lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = 30 + 0.75 \frac{L}{r} \dots\dots\dots 0 \leq \frac{L}{r} \leq 120 \quad \text{Curva 2}$$

- Excentricidad normal a la armadura en ambos extremos del tramo no soportado lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0.50 \frac{L}{r} \dots\dots\dots 0 \leq \frac{L}{r} \leq 120 \quad \text{Curva 3}$$

Relación de esbeltez para miembros entre 120 a 200:

- Sin restricción contra la rotación en ambos extremos del tramo no soportado lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} \dots\dots\dots 120 \leq \frac{L}{r} \leq 200 \quad \text{Curva 4}$$

- Parcialmente restringidos contra la rotación en uno de los extremos del tramo no soportado lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = 28.6 + 0.726 \frac{L}{r} \dots\dots\dots 120 \leq \frac{L}{r} \leq 200 \quad \text{Curva 5}$$

- Parcialmente restringidos contra la rotación en ambos extremos del tramo no soportado lateralmente del elemento.

$$\frac{KL}{r} = 46.2 + 0.615 \frac{L}{r} \dots\dots\dots 120 \leq \frac{L}{r} \leq 200 \quad \text{Curva 6}$$

Miembros redundantes

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} \dots\dots\dots 0 \leq \frac{L}{r} \leq 120 \quad \text{Curva 1}$$

- Si los elementos no están restringidos contra la rotación en ambos extremos del tramo no soportado lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} \dots\dots\dots 120 \leq \frac{L}{r} \leq 250 \quad \text{Curva 4}$$

- Si los elementos están parcialmente restringidos contra la rotación en un extremo del elemento no soportado lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = 28.6 + 0.726 \frac{L}{r} \dots\dots\dots 120 \leq \frac{L}{r} \leq 290 \quad \text{Curva 5}$$

- Si el elemento es parcialmente restringido contra la rotación en ambos extremos de la barra no soportada lateralmente:

$$\frac{KL}{r} = 46.2 + 0.615 \frac{L}{r} \dots\dots\dots 120 \leq \frac{L}{r} \leq 330 \quad \text{Curva 6}$$

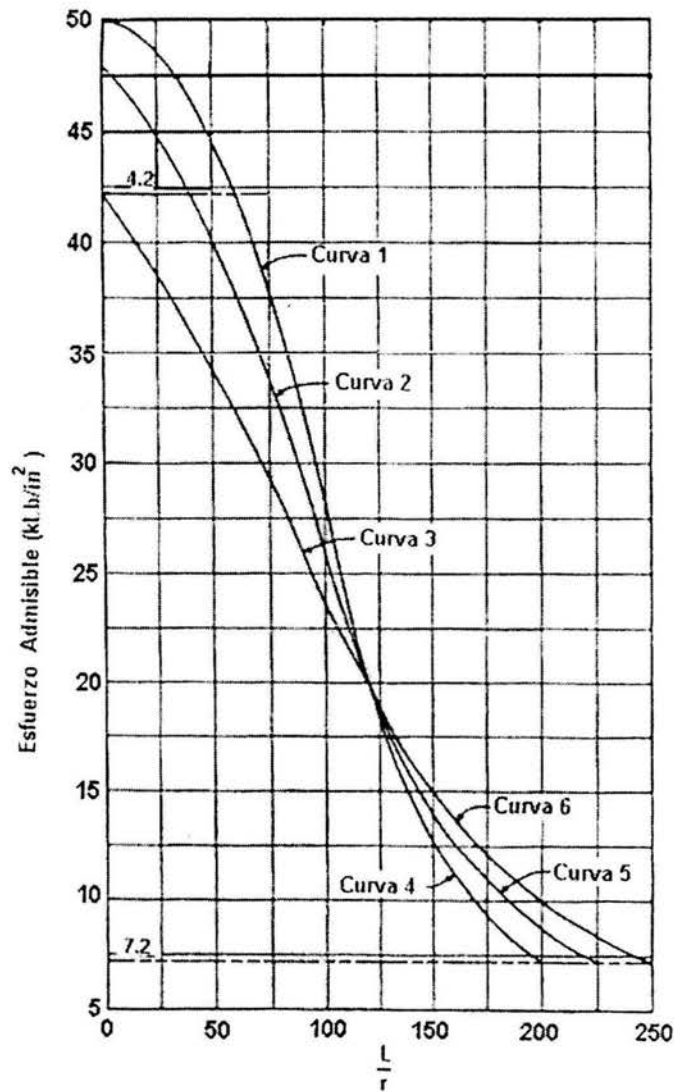


Fig. 4C3.- Curva de compresión para $F_y=50 \text{ klb/in}^2$

Fig.1-21 Curvas de Compresión para Acero Gr.50

La gráfica de la fig.4C3 del Manual ASCE 52, figura 1-21, representa las curvas de compresión obtenidas en laboratorio, su aplicación depende de la restricción del elemento y de estas las más utilizadas en el diseño de los elementos a compresión son:

- Miembros principales: Curva 1, conectados en ambas alas del ángulo.
- Miembros secundarios: Curva 2, conectados en ambas alas en un extremo y una en el otro.
- Miembros redundantes: Curva 4, conectados solo en una ala en ambos extremos.

Limites empleados de relaciones de esbeltez:

- | | |
|---|-----|
| - Miembros principales (esquineros) y mensulas (crucetas) | 120 |
| - Otros miembros a compresión (secundarios) | 200 |
| - Miembros redundantes con esfuerzos calculados | 250 |
| - Miembros a tensión (tirantes de la mensula) | 350 |

1.3.6 Conexiones.

Las conexiones son diseñadas normalmente al aplastamiento y se asume que los tornillos de un miembro a otro, transmite la carga igualmente en la conexión.

Para el cálculo del número de tornillos en cada conexión se calcula con el esfuerzo máximo en el material conectado, y será de acuerdo al estándar ASCE 10-97 como sigue:

- Cortante:

$$\#_{\text{tornillos a cortante}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_v \cdot x \cdot A_t}$$

donde:

$Esf_{\text{máximo}}$ = esfuerzo máximo entre la compresión y tensión del elemento a conectar.
 σ_v = esfuerzo admisible al corte del tornillo (en kg/cm²)
 A_t = área transversal del tornillo (en cm²)

- Aplastamiento:

$$\#_{\text{tornillos al aplastamiento}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_{apl}(\phi_t)(t_p)}$$

donde:

$Esf_{\text{máximo}}$ = esfuerzo máximo entre la compresión y tensión del elemento a conectar.
 σ_{apl} = esfuerzo admisible al aplastamiento del tornillo (en kg/cm²)
 ϕ_t = diámetro del tornillo (en cm)
 t_p = espesor del ángulo a conectar (en cm)

El número de tornillos que se indica en el diseño será el mayor de ambos.

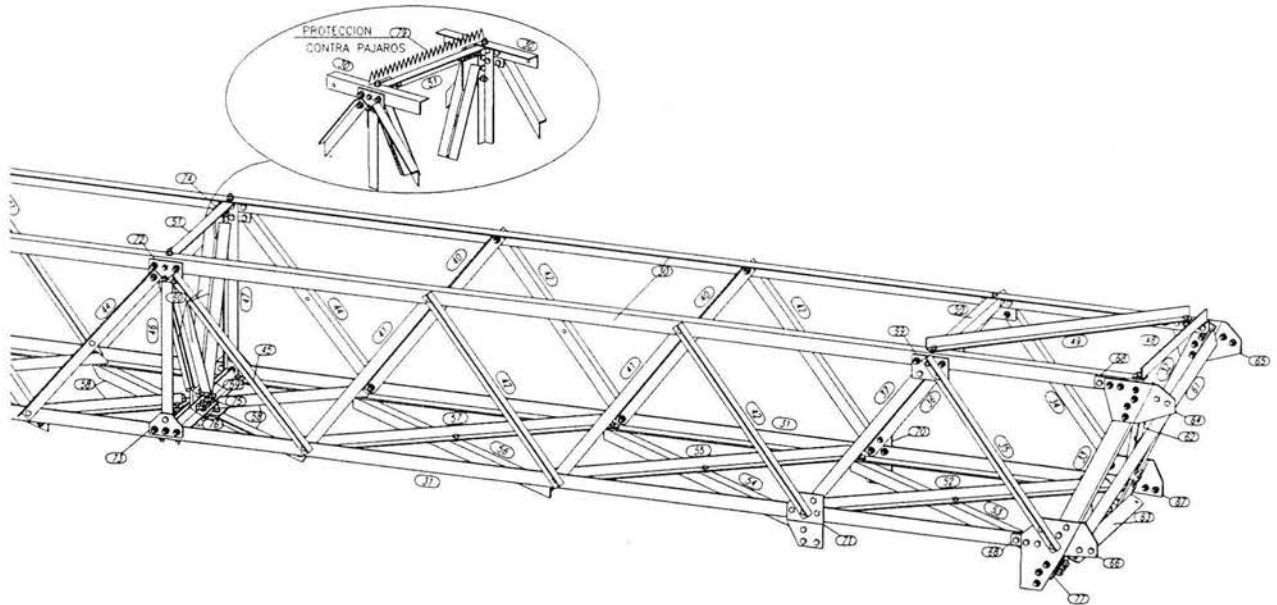


Fig. 1-22 Conexiones en el puente de la torre S1

1.3.7 Análisis Elástico - Programa

El análisis elástico de la torre es realizado usando un programa de computadora de análisis lineal tridimensional elástico (método de la rigidez) nombrado TOSCA¹⁶, desarrollado en ABB Italia, y es representado por un modelo integrado por miembros interconectados con nudos, los cuales normalmente se clasifican como miembros principales, secundarios y redundantes. Los miembros principales junto con los secundarios forman el sistema triangulado que lleva las cargas de sus puntos de aplicación hacia las cimentaciones de la torre. Los miembros redundantes se utilizan para dar apoyo intermedio y reducen la longitud de pandeo, éstos pueden ser identificados fácilmente en un esquema como miembros dentro de un triángulo formado por miembros principales y secundarios (ver esquema en 1.2.5)

El programa TOSCA se deriva del SOLID-SAP, programa desarrollado por E.L.WILSON en el departamento de Ingeniería Civil, de la Universidad de California, Berkeley, en el cuál se han agregado instrucciones de usuario como:

- a) Datos de nudos o juntas, incidencias de miembros y generación de conexiones.
- b) Hipótesis de cargas generadas de los casos de carga.
- c) Dimensionamiento de los miembros, cálculo del peso muerto y de las fuerzas del viento actuantes en la estructura con técnicas interactivas.
- d) Cargas en las cimentaciones con los factores relevantes de la sobrecarga.
- e) Dibujos automáticos de la red estructural, hipótesis de carga y contorno de la torre.

Este programa, por requerimientos del ISO-9001, es internamente certificado según los procedimientos de sistema de calidad de ABB Solutions Italia.

1.3.8 Configuración geométrica

La configuración geométrica de la parte superior de la torre (cabeza), es afectada por lo siguiente:

- El tipo de línea de transmisión (refiriéndose al tipo de voltaje, al número de circuitos y número de conductores).
- Y por las distancias eléctricas.

La altura de la torre depende de:

- Flecha del conductor.
- Claro eléctrico a tierra.

Las cargas en las cimentaciones son afectadas por:

- Ancho de la base de la torre, las cuales son más favorables cuando la base de la torre es amplia.

Para cualquier tipo de torre (Delta, Cabeza de Gato, etc.), la parte superior afectada por el tipo de línea de transmisión se refiere al nivel de la cintura a la punta más alta de la torre.

¹⁶ TOSCA .- Tower Structural Calculations

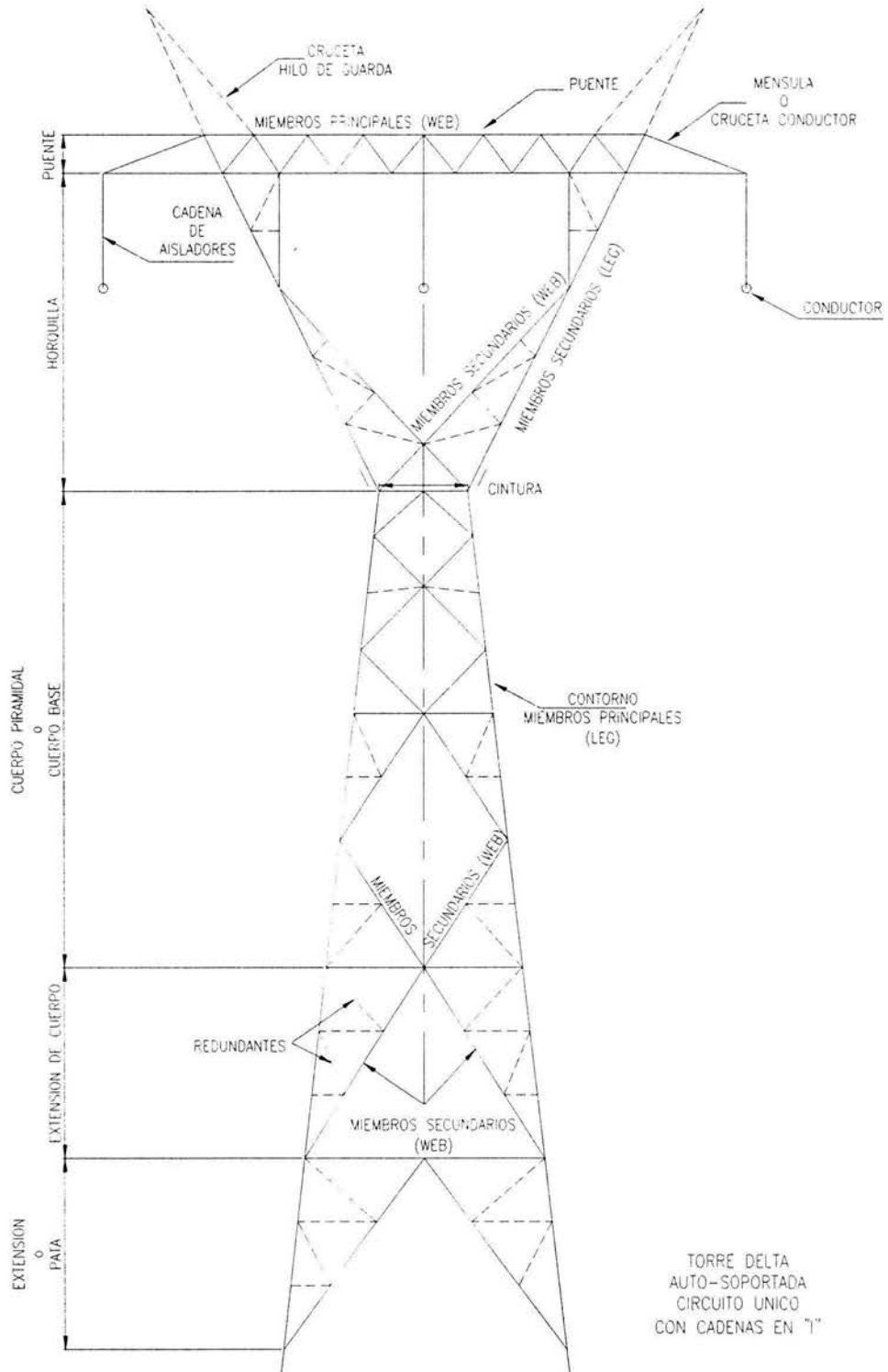


Fig. 1-23 Configuración Geométrica

La configuración geométrica final, es definida una vez obtenida la altura utilizable de la torre así como la definición de los niveles (ver 2.2 Estructuración de la torre)

2 ESTUDIOS DE NIVELES Y DISTANCIAS ELÉCTRICAS.

2.1 Estudio de niveles y extensiones de cuerpo.

El estudio de niveles se inicia con las distancias eléctricas, debido a que las alturas de los niveles de una torre están en función de éstas, las cuales definen las dimensiones mínimas verticales y horizontales a partir de los requerimientos eléctricos como son, las distancias mínimas entre fase y las distancias mínimas eléctricas; y finalmente las cargas determinan las dimensiones finales de la estructura como la base de la torre y los perfiles estructurales (ángulos).

2.1.1 Requerimientos eléctricos de la torre.

- Distancias eléctricas: son las distancias mínimas que se requiere del cable conductor a la estructura, la cuál es necesaria para no electrificarla y dependen del voltaje a conducir en la línea; para éste proyecto se consideró lo siguiente:

Condición:	Presión del viento (kg/m ²)	Distancia mínima para un voltaje de 110 kV, (mm),
Sin viento	0.0	1250
Viento reducido	25.50	850
Viento máximo	78.10	510

- Separación mínima entre los conductores y la tierra (accesible solo a los peatones) es de 6.50m.
- La longitud del claro del diseño fue de 350m con la cuál se basó la altura estándar, considerando 400 mm de altura del concreto de la cimentación que sobresale del terreno.

Generalmente en cada proyecto se cuenta con la información del balanceo del conductor por efecto del viento y por la deflexión de la línea, para éste proyecto se calcularon los ángulos de balanceo, los cuales se presentan en la tabla 2-1.

		TORRE TIPO "S1" (1 deg)			
		sin viento	viento reducido	viento máximo	
Presión del viento*	kg/m ²	0.00	25.50	78.00	
Tensión el el conductor*	kg	1543	1719	2665	
Claro de viento*	m	350	350	350	
Claro de peso*	m	350	350	350	
Angulo de línea*	deg	1	1	1	
Diámetro del conductor*	mm	18.13	18.13	18.13	
Peso del conductor*	kg/m	0.73	0.73	0.73	
Área de cadena de aisladores *	m ²	0.3	0.3	0.3	
Peso de cadena de aisladores *	kg	60	60	60	
Tc viento**	kg	0	162	495	
Tc ángulo**	kg	27	30	47	
Tc**	kg	27	192	541	
T aisladores**	kg	0	7.65	23.4	
Vc**	kg	255.5	255.5	255.5	
Vi**	kg	60	60	60	
Tan(alfa)**		0.0943	0.6852	1.9375	(*) proporcionado
Alfa **	deg	5	34	63	(**) calculado

Tabla 2-1 Cálculo del balanceo de los conductores

Donde:

- $T_c \text{ viento} = \text{Presión del viento} + \text{Claro de viento} \times (\text{diámetro del conductor en metros})$
 (fuerza de tensión en el conductor debida al viento)
- $T_c \text{ ángulo} = 2 \times \text{Tensión en el Conductor} \times \text{sen}(\text{ángulo de línea} \div 2)$
 (fuerza de tensión debida al ángulo de línea)
- $T_c = T_c \text{ viento} + T_c \text{ ángulo}$
 (fuerza de tensión total en el conductor debida al ángulo de línea y a la presión del viento)
- $T \text{ aisladores} = \text{presión del viento} \times \text{área de la cadena de aisladores}$
 (fuerza de tensión en la cadena de aisladores debida al viento)
- $V_c = \text{Claro de peso} \times \text{peso del conductor}$
 (peso del conductor en el claro de diseño de la torre)
- $V_i = \text{Peso de la cadena de aisladores}$
- $\text{Tan}(\text{alfa}) = (T_c + (T \text{ aisladores} \div 2)) \div (V_c + (V_i \div 2))$
 (tangente del ángulo de balanceo)

Los valores que se presentan en la tabla anterior de 1543, 1719, 2665 kg, representan la tensión en el conductor y se calcularon considerando los factores atmosféricos de la zona donde se construirá la línea, tomando en cuenta desde la temperatura mínima a la máxima que se pueda presentar considerando un salto de temperatura de 17°C.

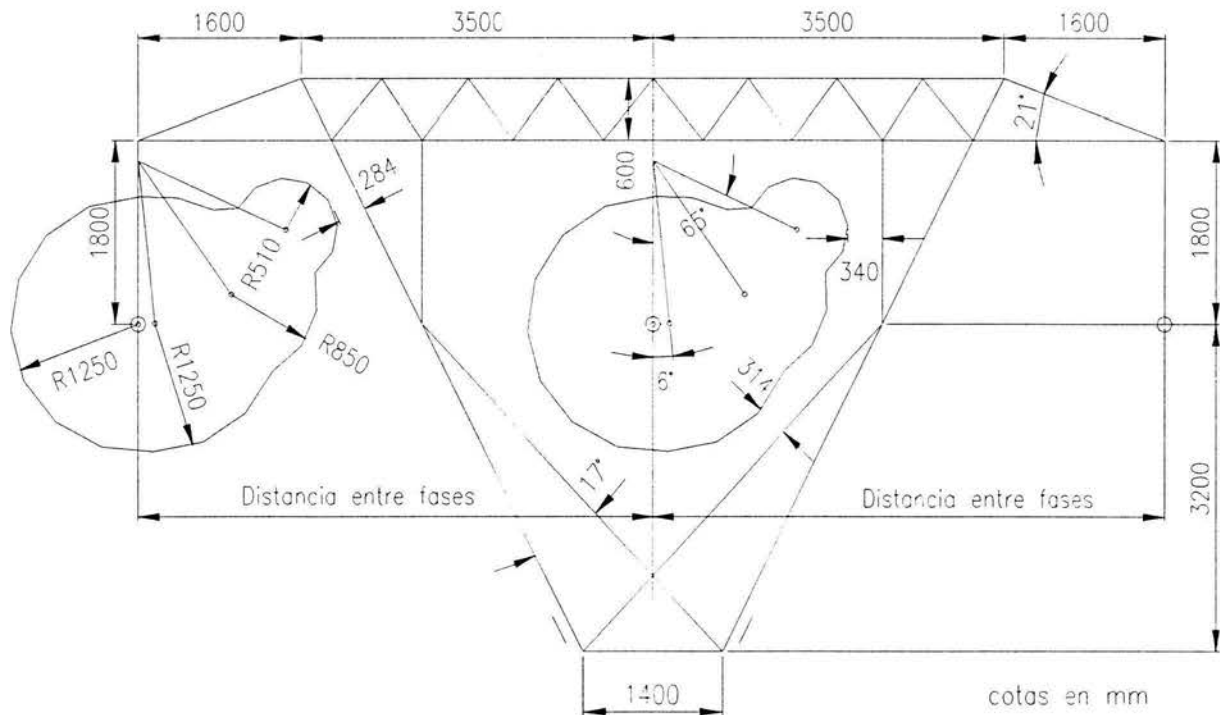


Fig. 2-1 Distancias eléctricas.

En el esquema Fig.2-1 en el plano se representan por medio de círculos las distancias eléctricas mínimas indicadas en la tabla 2-1.

2.1.2 Flechas y tensiones

Las flechas y sus correspondientes tensiones en los cables (conductores y de guarda), se determinan bajo varias condiciones de carga y temperatura. Los datos de las flechas y tensiones se encuentran divididos en tres categorías de acuerdo al estado físico del conductor, con referencia al pasado y presente al grado de esfuerzo y al tiempo en el que el conductor se encuentra bajo esfuerzos; de estas tres categorías se refiere a:

1. Condición de carga inicial: se aplica a los conductores que no se han tensionado más allá de un porcentaje pequeño del valor de la tensión seleccionado como la tensión de operación máxima.

Las flechas basadas en esta condición son utilizadas para los datos de tensado de la línea y son datos básicos para preparar las plantillas de las flechas, las cuales son utilizadas para determinar las fuerzas máximas de arrancamiento en la torre.

2. Condición final de carga: se aplica a los conductores que se han tensionado al valor seleccionado como la tensión de operación máxima, donde el conductor no ha estado bajo esta tensión por un tiempo corto.

Las flechas y las tensiones basadas en esta condición se utilizan para determinar la flecha, la tensión de la carga total y la secuencia de los datos para los conductores pretensados.

3. Condición final con deformación plástica (creep) en el conductor : se aplica a los conductores que han estado en el lugar por años; los valores de la deformación se basan generalmente en períodos de 10 años, puesto que cerca de 95% de la deformación plástica del conductor se ha perdido en este periodo de tiempo.

Las flechas basadas en esta condición de carga se utilizan para determinar la altura básica de las torres para el claro normal, distribución de torres y preparación de plantillas de la flecha; las cuales se pueden utilizar para el control de la distribución de estructuras en los dibujos de perfiles.

Para el caso de este proyecto, el cálculo de las flechas y tensiones en el conductor se consideraron sólo la inicial y la final; fueron calculadas sobre la base de la fórmula de la catenaria de acuerdo a lo especificado por el cliente:

- (1)¹⁷ Esta consideración será utilizada con el 25% UTS (resistencia última a la tensión) en condiciones iniciales.
- (2)¹⁷ EDS¹⁸ 20% de UTS de acuerdo al capítulo 3.4.2 de la Especificación Técnica. En condición final. Límite de tensión de 7,5kg/mm² en condición inicial de acuerdo al cap. 7.5.1 de la Esp. Tec.
- (3)¹⁷ Utilizada para calcular la máxima flecha para el nivel de torre +0m (altura estándar).
- (4)¹⁷ Para calcular el balanceo de la cadena de aisladores en la condición de viento máximo – Límite de tensión 50% UTS según cap. 3.4.2 de Esp. Tec.
- (5)¹⁷ Empleada en condición de carga con viento transversal (condición inicial).
- (6)¹⁷ Utilizada condición de carga normal con viento en diagonal (condición inicial).
- (7)¹⁷ Para el cálculo del balanceo de la cadena de aisladores en suspensión, en condición de viento reducido.
- (8)¹⁷ Utilizada para el cálculo de la cadena de aisladores de suspensión en la condición sin viento.

El cálculo de las flechas y tensiones fueron calculado con el programa STUCO¹⁹ y los resultados se presentan a continuación:

¹⁷ ver pág. 30 y 31

¹⁸ EDS-Norma Europea

¹⁹ STUCO –(Study Conductor), realiza interacciones ajustando el claro de viento y la tensión máxima del conductor, considera las condiciones meteorológicas empleando la fórmula de la catenaria.

Initial Sag and tension calculation

CONDUCTOR DATA		DIAMETER		MM		MM			
SECTION		SECTION		MM2		MM2			
WEIGHT		WEIGHT		KG/M		KG/M			
COEF. OF THERM. EXP.		COEF. OF THERM. EXP.		/ .C*E-6		/ .C*E-6			
INITIAL MODULUS OF YOUNG		INITIAL MODULUS OF YOUNG		KG/MM2		KG/MM2			
U.T.S.		U.T.S.		KG		KG			
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
TEMPERATURE	DEG.C	5.00	20.00	80.00	-1.00	20.00	20.00	-1.00	-1.00
ICE THICKNESS	MM	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
WIND PRESSURE	KG/M2	.00	.00	.00	78.00	78.00	39.00	25.50	.00
LIMIT TENSION	KG	1764.00	1460.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
(25%UTS)									
SPAN(M)		GUST F.		TENSION (KG)		SAG (M)			
250.0	1.00	1631	1460 *	1010	2463	2257	1747	1834	1707
		3.48	3.89	5.62	5.04	5.50	4.53	3.67	3.32
275.0	1.00	1614	1460 *	1048	2513	2321	1771	1825	1683
		4.25	4.70	6.55	5.98	6.48	5.41	4.46	4.08
300.0	1.00	1599	1460 *	1082	2560	2379	1793	1816	1661
		5.11	5.60	7.56	6.99	7.52	6.36	5.33	4.92
325.0	1.00	1585	1460 *	1113	2603	2433	1813	1808	1641
		6.05	6.57	8.62	8.07	8.63	7.38	6.29	5.84
350.0	1.00	1573	1460 *	1140	2642	2483	1831	1801	1623
		7.07	7.62	9.76	9.22	9.81	8.48	7.32	6.85
375.0	1.00	1562	1460 *	1165	2678	2528	1847	1795	1608
		8.17	8.75	10.97	10.44	11.06	9.65	8.43	7.94
400.0	1.00	1553	1460 *	1187	2712	2570	1862	1790	1594
		9.36	9.95	12.25	11.74	12.38	10.90	9.63	9.12
425.0	1.00	1545	1460 *	1207	2743	2609	1875	1785	1582
		10.62	11.24	13.60	13.10	13.78	12.22	10.90	10.37
450.0	1.00	1537	1460 *	1225	2771	2645	1887	1780	1571
		11.97	12.60	15.02	14.54	15.24	13.61	12.25	11.71

Final Sag and tension calculation

CONDUCTOR DATA		DIAMETER		MM		MM2		MM2		MM	
		SECTION		MM2		MM2		MM2		MM	
WEIGHT		KG/M		KG/M		KG/M		KG/M		KG/M	
COEF.OF THERM.EXP.		/ .C*E-6		/ .C*E-6		/ .C*E-6		/ .C*E-6		/ .C*E-6	
FINAL MODULUS OF YOUNG		KG/MM2		KG/MM2		KG/MM2		KG/MM2		KG/MM2	
U.T.S.		KG		KG		KG		KG		KG	
		(1)		(2)		(3)		(4)		(5)	
TEMPERATURE		DEG.C		20.00		80.00		-1.00		20.00	
ICE THICKNESS		MM		.00		.00		.00		.00	
WIND PRESSURE		KG/M2		.00		.00		78.00		78.00	
LIMIT TENSION		KG		1350.00		.00		3527.00		.00	
				(<20%UTS)				(50%UTS)			
SPAN (M)		GUST F.		TENSION (KG)		SAG (M)					
				SAG (M)							
250.0	1.00	1522	1350 *	937	2472	2243	1674	1752	1601	1674	1752
		3.73	4.20	6.06	5.03	5.54	4.73	3.84	3.54	4.73	3.84
275.0	1.00	1500	1350 *	975	2513	2302	1695	1734	1570	1695	1734
		4.58	5.09	7.04	5.98	6.53	5.65	4.69	4.37	5.65	4.69
300.0	1.00	1482	1350 *	1009	2550	2355	1714	1719	1543	1714	1719
		5.51	6.05	8.10	7.02	7.60	6.66	5.64	5.30	6.66	5.64
325.0	1.00	1467	1350 *	1039	2584	2402	1731	1706	1520	1731	1706
		6.54	7.10	9.23	8.13	8.74	7.74	6.66	6.31	7.74	6.66
350.0	1.00	1453	1350 *	1066	2614	2445	1745	1695	1500	1745	1695
		7.65	8.24	10.44	9.32	9.96	8.90	7.78	7.42	8.90	7.78
375.0	1.00	1442	1350 *	1090	2641	2484	1758	1685	1483	1758	1685
		8.86	9.46	11.73	10.59	11.26	10.15	8.99	8.61	10.15	8.99
400.0	1.00	1433	1350 *	1111	2665	2519	1769	1677	1469	1769	1677
		10.14	10.77	13.09	11.94	12.64	11.47	10.28	9.89	11.47	10.28
425.0	1.00	1424	1350 *	1130	2687	2551	1779	1669	1457	1779	1669
		11.52	12.16	14.53	13.37	14.09	12.88	11.65	11.26	12.88	11.65
450.0	1.00	1417	1350 *	1147	2707	2579	1788	1663	1446	1788	1663
		12.98	13.63	16.05	14.89	15.62	14.37	13.12	12.72	14.37	13.12

2.1.3 Distancia de fases:

La distancia mínima horizontal entre los puntos de la fijación de fases en las torres, es derivada de la fórmula siguiente:

$$D = 0.8x\sqrt{(F+L)} + 0.007xU^{20}$$

Donde:

D = distancia horizontal

F = 10.44m: flecha final del conductor a 80°C

L = 1.80m: longitud vertical de la cadena del aislador

U = 123 kV: voltaje máximo

Para la torre S1 de suspensión, la distancia mínima es:

$$D = 0.8x\sqrt{10.44+1.8} + 0.007x123 = 3.57m$$

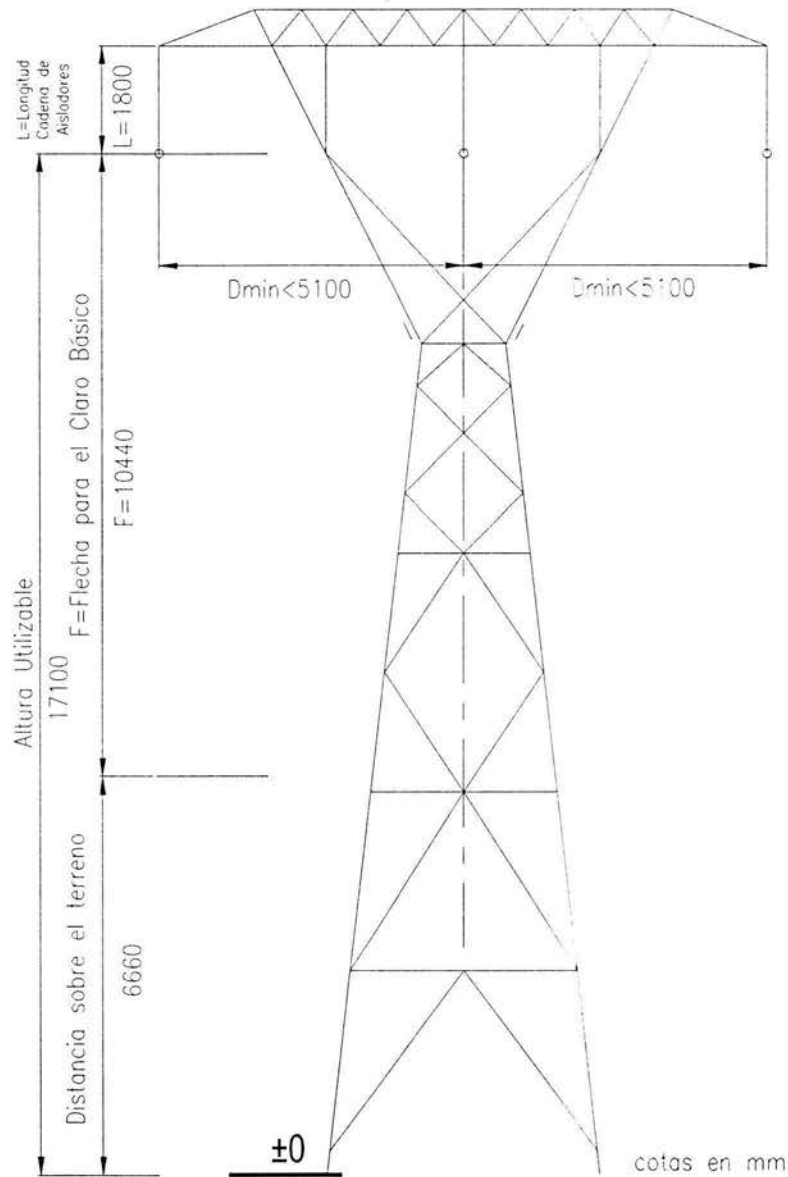


Fig. 2-2 Distancias de Fases.

Para obtener la altura utilizable de una torre, se debe agregar la separación requerida sobre la tierra y la flecha para el claro básico en la temperatura máxima en condiciones finales. Con ésta altura utilizable se obtiene así la torre estándar (Nivel ± 0 con patas ± 0 .)

²⁰ de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto

2.1.4 Definición de niveles.

Una vez obtenido el nivel básico con los parámetros eléctricos, se define el resto de los niveles, los cuales se obtienen sólo adicionando extensiones de cuerpo de 3 y 6 metros de acuerdo a lo requerido en las especificaciones técnicas del proyecto.

Las extensiones de patas son intercambiables para las extensiones de cuerpo ± 0 m, +3m y +6m, para la combinación de patas desiguales se consideró 3.0m de desnivel.

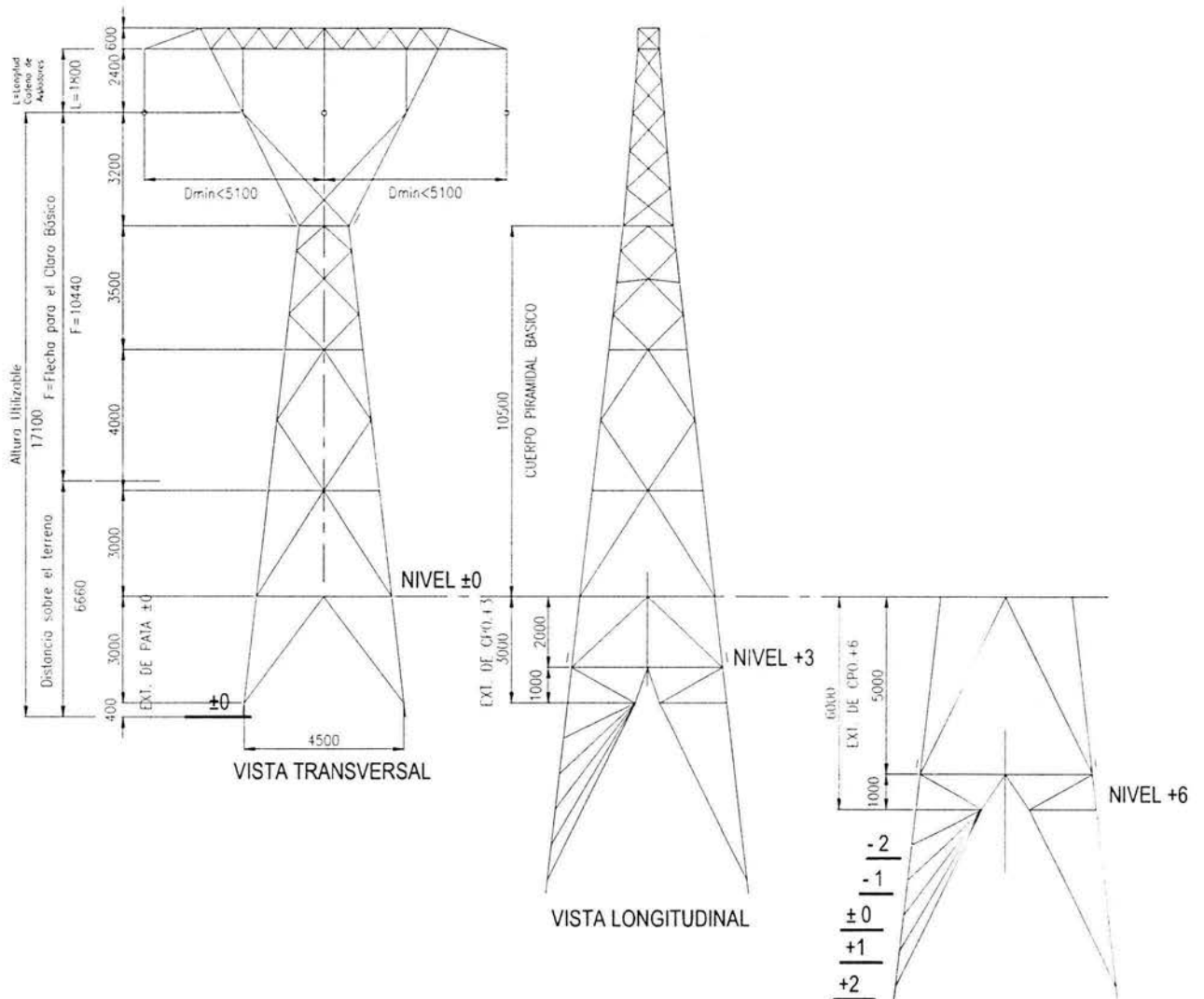


Fig. 2-3 Definición de niveles

2.2 Estructuración de la torre.

La estructuración de la torre es resuelta de acuerdo al criterio de una armadura en el espacio, ya que todos los elementos principales y secundarios que componen las caras externas e internas triangulan, además el arreglo geométrico de estos elementos debe mantener una geometría simple utilizando poco miembros como sea posible; en el esquema siguiente se aprecia el arreglo de los elementos (triangulación) y para reducir la longitud de esbeltez (pandeo) de estos se toma en cuenta dicho criterio; los ángulos que se forman por la triangulación no deben ser mayores a 15° ya que por especificación técnica no se permiten.

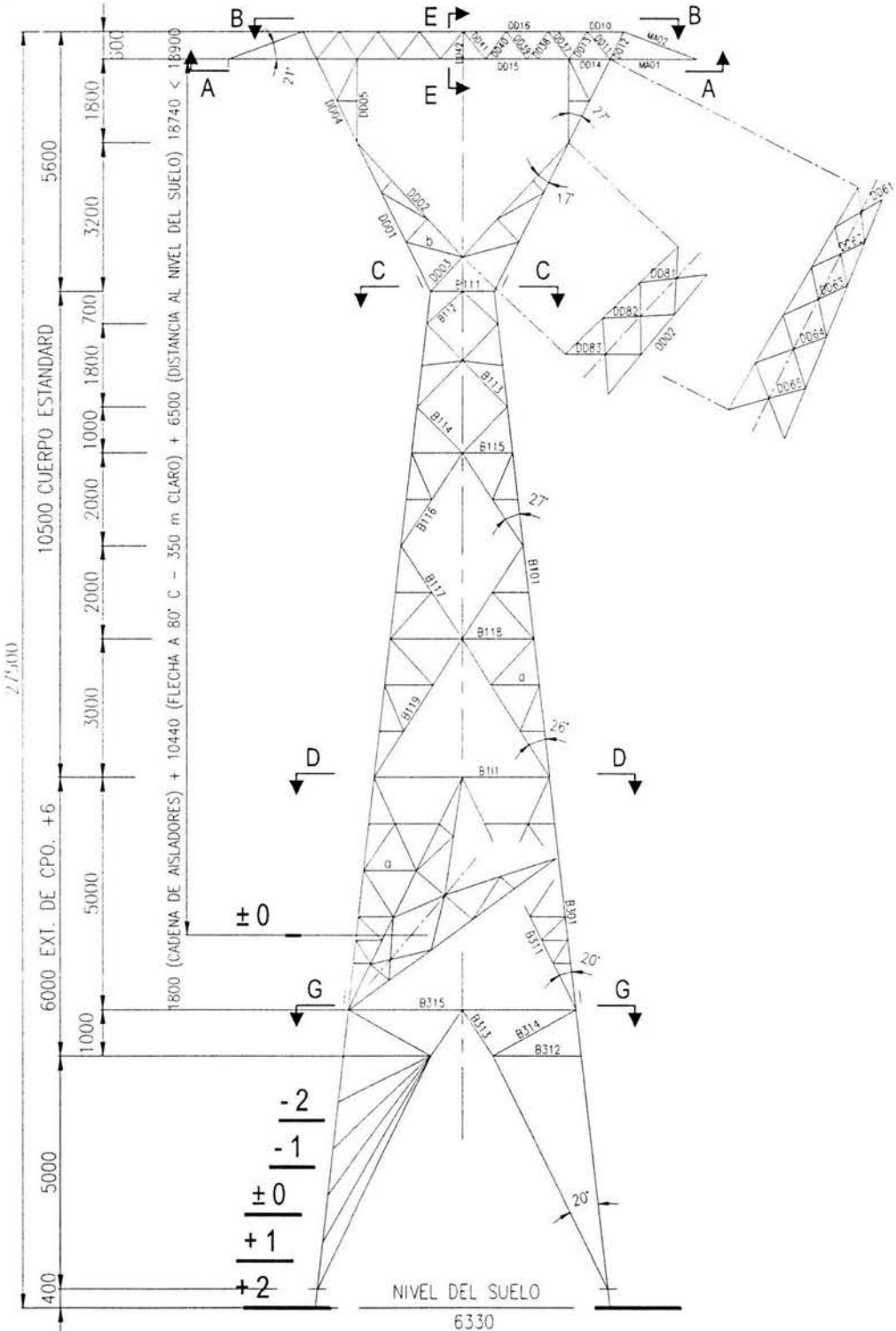


Fig. 2-4 Estructuración de la Torre – Vista Frontal-

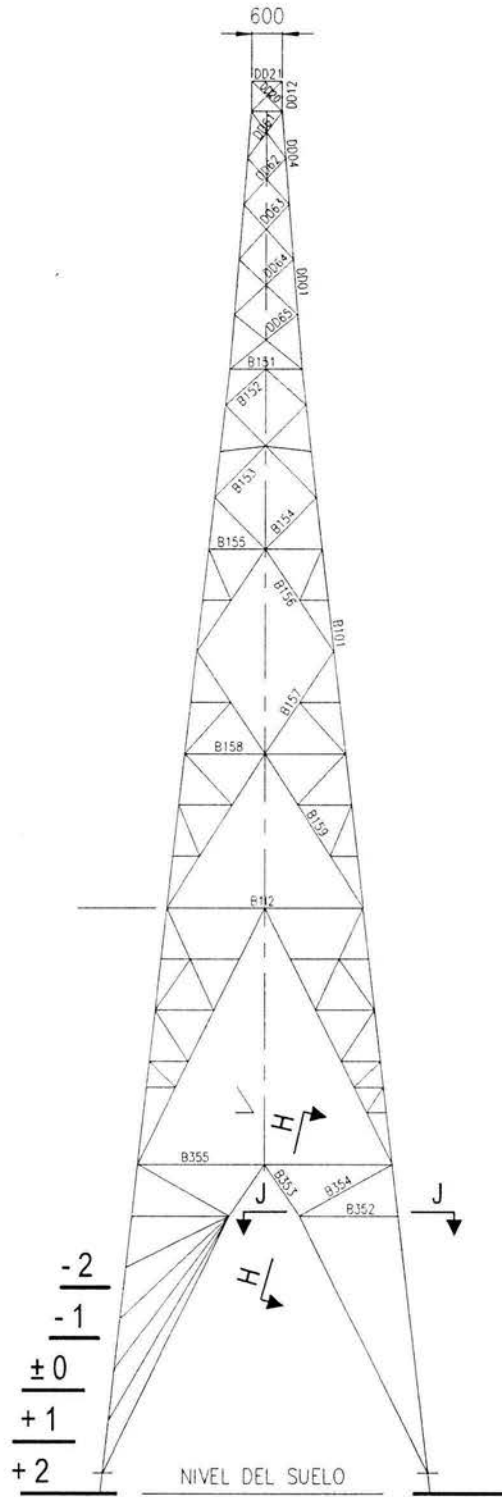
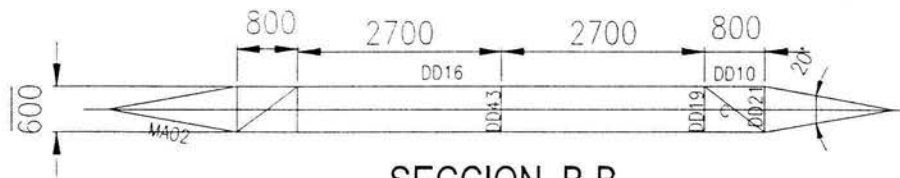
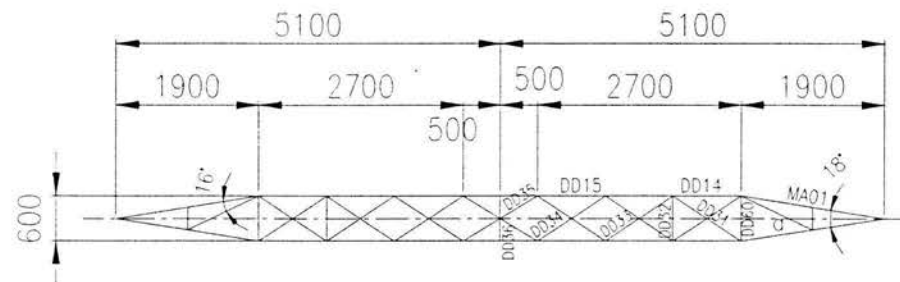


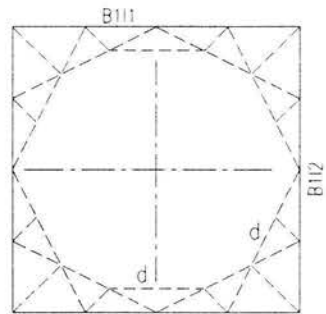
Fig. 2-5 Vista Transversal derecha



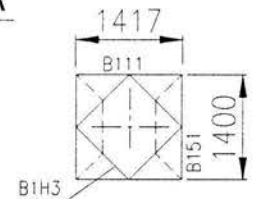
SECCION B-B



SECCION A-A



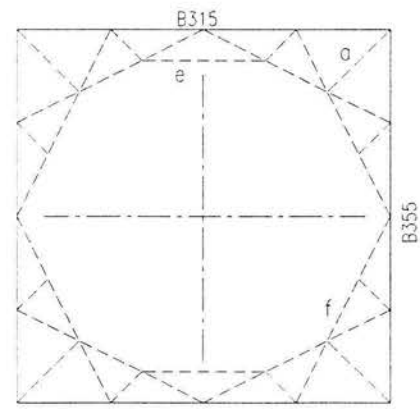
SECCION D-D



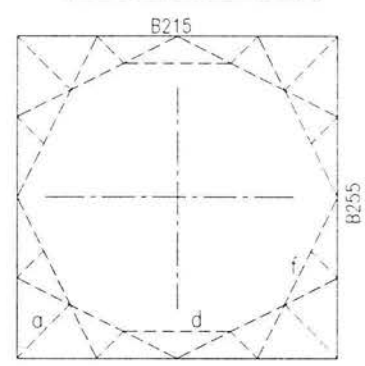
SECCION C-C



SECCION E-E



SECCION G-G



SECCION F-F

Fig. 2-5a Estructuración de cuadros y crucetas

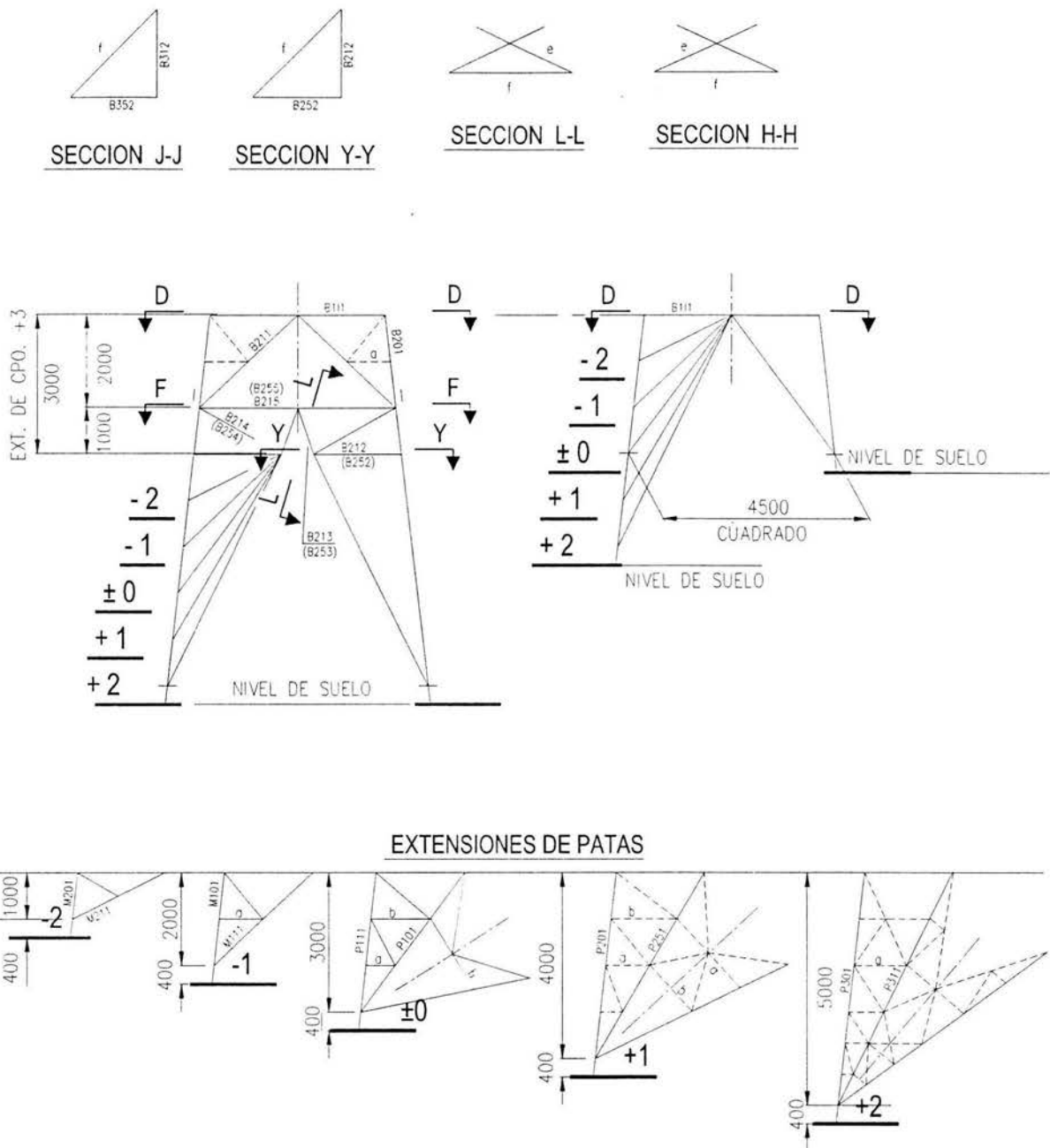


Fig. 2-5b Estructuración de cuadros y crucetas

Finalmente con la estructuración y los niveles definidos se obtiene la configuración geométrica, con la cuál se analiza y diseña la torre, con el empleo del programa TOSCA²¹.

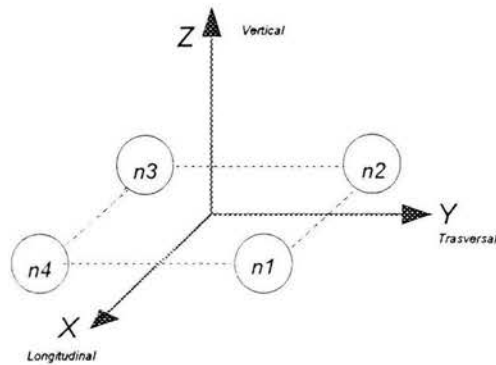


Figure 2-6 Dirección de cargas y coordenadas: (X-X= eje de la línea)

La altura de la torre del diseño se realizaron usando las configuraciones geométricas siguientes:

Configuración:	Código:
Parte común más cuatro patas -2.0	S0M5
" " " " " -1.0	M3M5
" " " " " ±0	M3M5
" " " " " +1.0	M3M5
" " " " " +2.0	M3M5
" " " tres patas +2.0 y una pata -2.0	M3M5
Parte común más extensión de cuerpo +3 más cuatro patas -2.0	S3Z3
" " " " " " " " " " " -1.0	S3Z3
" " " " " " " " " " " ±0	S3Z3
" " " " " " " " " " " +1.0	S3Z3
" " " " " " " " " " " +2.0	S3Z3
" " " " " " " " " tres patas +2.0 y una pata -2.0	S3Z3
Parte común más extensión de cuerpo +6 más cuatro patas -2.0	S3Z3
" " " " " " " " " " " -1.0	S6Z3
" " " " " " " " " " " ±0	S6Z3
" " " " " " " " " " " +1.0	S6Z3
" " " " " " " " " " " +2.0	S6Z3
" " " " " " " " " tres patas +2.0 y una pata -2.0	S6Z3

²¹ ver 1.3.7

3 CARGAS DE DISEÑO

3.1 Viento.

La presión del viento se consideró de acuerdo a las especificaciones técnicas del cliente y de acuerdo a la presión del viento de la zona de Mozambique.

Sección de la línea	Longitud de la sección (km)	Velocidad del viento (m/s)	Presión del viento (N/m ²) / (kg/m ²)	
Gurue –Cuamba	100	Viento total = 35	765.6	78.1
Cuamba-Lichinga	235	Viento reducido = 20	250.0	25.5

3.2 Carga de viento en los conductores.

La presión en los cables conductores es calculada de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q = 0.625 \times V^2 \times C_x A x \sin^2 \phi$$

Donde:

Q = carga del viento en N/m

V = velocidad del viento en m/s

C = factor de arrastre = 1.0 (considerada por especificación del proyecto)

A = área frontal efectiva m²/m

ϕ = Ángulo de la incidencia del viento de la dirección de la línea.

3.3 Carga de viento en la torre.

$$Q = 0.625 \times V^2 \times C_x A$$

Donde:

Q = carga de viento en N/m

C = factor de arrastre dado abajo (ver cálculo en capítulo 4 en 4.21.1)

A = área frontal efectiva m²/m

Para el cuerpo de la estructura en torres auto-soportadas, C será derivada de la fórmula siguiente:

Torre cuadrada: $C = 4.30 (1 - 1.16 \phi)$

Donde:

ϕ = área frontal efectiva dividida por el área incluida en el límite del bastidor.

$$0.05 < \phi < 0.45$$

Para las ménsulas no se considera ningún efecto.

$$C = 3.5 \text{ para } 0.1 < \phi < 0.7$$

Para la torre cuadrada la carga máxima ocurre cuando el viento sopla a una esquina, por lo que se asume 1.2 veces la carga de viento en la cara.

3.3.1 Viento transversal.

Las fuerzas debidas al viento en la torre, cuando sopla horizontalmente, se aplican en el centro de gravedad de cada panel estructural (de una cara de la torre) y se calculan de acuerdo con la fórmula mostrada en capítulo 3.5.3 "Carga de viento en Torres" de las especificaciones técnicas de proyecto, la cuál se refiere a:

$$F = Q \times 1.0 \text{ vez} = 78.10 \text{ kg/m}^2 = 765.92 \text{ N/m}^2$$

Donde:

Q = presión dinámica del viento.

3.3.2 Viento diagonal

Cuando el viento sopla en una esquina la presión actúa simultáneamente en las caras transversales y longitudinales. En cada dirección la componente del viento se toma igual a 0.70 de la presión transversal del viento. La presión se ha calculado según la fórmula mostrada en capítulo 3.5.3 "Carga de viento en Torres" de las especificaciones técnicas de proyecto.

$$F = Q \times 1.2 \text{ veces} \times 0.70 = 65.60 \text{ kg/m}^2 = 643.38 \text{ N/m}^2 \text{ (transversal y longitudinal)}$$

Donde:

$$Q = \text{presión dinámica del viento} = 78.10 \text{ kg/m}^2 = 765.92 \text{ N/m}^2$$

3.4 Condiciones de carga.

Las condiciones de carga de trabajo son calculadas de acuerdo a las especificaciones técnicas del cliente, cumpliendo así con todos los requerimientos y necesidades de la línea.

Los factores de seguridad utilizados para las condiciones de carga fueron los siguientes:

- Para condiciones de cargas de trabajo normal: F.S.=1.8
- " " " " " ruptura: F.S.=1.0
- " " " " " construcción y mantenimiento F.S.=2.0

3.4.1 Condición de carga normal.

- Para la condición normal balanceada con viento transversal (dirección 90°), se consideró:
 - El 100% de la presión del viento transversal en conductores (con una presión de viento de 78.1 kg/m²)
 - El 100% de la presión del viento transversal en la cadena de aisladores.
 - El 100% de la presión del viento transversal en los miembros estructurales de la torre.
 - La componente de la línea de ángulo por dos y por un conductor a una tensión a 20°C con el 100% de la presión del viento.
 - La carga longitudinal del ángulo debido a la tensión del conductor a 20°C y 100% de la presión del viento en los cables en equilibrio (aplicado en ambos lados de la torre).
 - El peso de la cadena de aisladores.
- Condición normal balanceada con viento diagonal (dirección 45°), se consideró:
 - El 50% de la presión del viento transversal en conductores (con una presión de viento de 78.1 kg/m².)
 - El 70% de la presión del viento transversal en la cadena de aisladores.
 - El 70% de la presión del viento longitudinal en la cadena de aisladores.
 - El 70% de la presión del viento transversal en los miembros estructurales de la torre (se aplica 1.2 veces la carga para la cara-en el viento)
 - El 70% de la presión del viento longitudinal en los miembros estructurales de la torre (se aplica 1.2 veces la carga para la cara-en el viento)
 - La componente de la línea de ángulo por dos y por un conductor a una tensión a 20°C y 70% de la presión del viento.
 - La carga longitudinal del ángulo debido a la tensión del conductor a 20°C y 70% de la presión del viento en los cables en equilibrio (aplicado en ambos lados de la torre)

3.4.2 Condición de carga excepcional – Ruptura de cable.

La carga longitudinal del desequilibrio debido al cable roto se aplica en cualquier alambre de la tierra (excepto en el hilo de guarda) o en cualquier conductor de la fase (rotura de un conductor secundario- por fase), a 20°C y con viento transversal de 78.1 kg/m².

- Carga Transversal:
 - a) Cable intacto como descrito en la condición normal
 - b) Ruptura de cable, 50% de la componente de ángulo y 75% de la acción del viento.
 - c) Sin viento en los miembros de la torre.

- Carga longitudinal por la ruptura de cable (a 20°C de la tensión final):
 - a) Tensión del cable de tierra a 20°C (no aplica)
 - b) Tensión de la fase del conductor a 20°C y viento máximo $\times 0.80 = 1375 \times 0.80 = 1100\text{kg}$, donde 0.80 es el factor de reducción por la condición de la ruptura del cable.
 - c) Peso de la cadena de aisladores.

- Carga vertical
 - a) Cable intacto como descrito en la condición normal.
 - b) Ruptura de cable, 75% de carga vertical del cable intacto.
 - c) Peso de la cadena de aisladores.

3.4.3 Construcción y Mantenimiento (condiciones de tensado).

Las condiciones ambientales durante la operación de tensado serán las siguientes:

- Temperatura: 20°C inicial. Correspondiente a 0°C final (simulación de salto térmico)
- Viento: sin viento.

Las siguientes cargas se introducen para considerar las cargas presentes durante la operación de tensado:

- Cargas transversales
 - a) Cables intactos según lo descrito para la condición normal pero sin viento.
 - b) Ninguna presión del viento en miembros de la torre.

- Cargas verticales
 - d) 2 veces el tiempo de los alambres intactos según lo descrito para las condiciones de carga equilibrada.
 - e) Peso de la cadena de aisladores.

- Carga longitudinal:
 - a) Tensión longitudinal debido a la desviación del conductor para el anclaje del conductor en la tierra. La distancia de Anclaje será dos veces el nivel de los puntos de accesorio del conductor (con una desviación normal de los alambres cerca de 25 grados).

3.5 Cálculo de cargas.

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR	:	ACSR "WOLF"	
TIPO DE APOYO	:	S1 - SUSPENSION 0°	
CLARO BASICO (m.)	:	400.0	
CLARO VIENTO (m.)	:	400.0	
CLARO PESO (m.)	:	500.0 máx.	400.0 min
ANGULO (Deg.)	:	0.0	

HIPÓTESIS NORMAL VIENTO TRANSVERSAL 90°

F.S. = 1.8

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor:	$1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.01813 \text{ m} \times 400 \text{ m}$	=	566.0 kg
- Viento sobre aislador :	$1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.3 \text{ m}^2$	=	23.0 kg
- Esfuerzo de ángulo	$2 \times \text{sen} 0 / 2 \times 2570 \text{ kg} \times 1$	=	0.0 kg
			Total 590.0 kg ²²

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR

- Peso del conductor:	$1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 500 \text{ m}$	=	363. kg
- Peso del aislador:		=	120. kg
			Total 485. kg

Vertical mínimo

CONDUCTOR

- Peso del conductor:	$1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 400 \text{ m}$	=	290. kg
- Peso del aislador:		=	120. kg
			Total 415. kg

CARGAS LONGITUDINALES

- Conductor .0 = 0.
 Viento transversal en una cara de la torre = $78.1 \text{ kg/m}^2 \times$ factor de arrastre

²² los totales se redondean a criterio del proyectista para fines prácticos.

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR : ACSR "WOLF"
 TIPO DE APOYO : S1 - SUSPENSION 0°
 CLARO BASICO (m.) : 400.0
 CLARO VIENTO (m.) : 400.0
 CLARO PESO (m.) : 500.0 máx. 400.0 min
 ANGULO (Deg.) : .0

HIPÓTESIS NORMAL VIENTO DIAGONAL 45°

F.S.= 1.8

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor: $1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1 (\text{Cx}) \times 0.01813 \text{ m} \times 400 \text{ m} \times \text{sen}^2 45 = 283.0 \text{ kg}$
 - Viento sobre aislador : $1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1 (\text{Cx}) \times 0.3 \text{ m}^2 \times 0.70 = 16.0 \text{ kg}$
 - Esfuerzo de ángulo $2 \times \text{sen} 0 / 2 \times 2570 \text{ kg} \times 1 = 0.0 \text{ kg}$

Total 300.0 kg

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 500 \text{ m} = 363. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

Total 485. kg

Vertical mínimo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 400 \text{ m} = 290. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

Total 415. kg

CARGAS LONGITUDINALES

- Conductor .0 = 0.

Viento transversal y longitudinal = $78.1 \text{ kg/m}^2 \times \cos 45 \times 1.2 \times \text{factor de arrastre}$
 en una cara de la torre

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR : ACSR "WOLF"
 TIPO DE APOYO : S1 - SUSPENSION 0°
 CLARO BASICO (m.) : 400.0
 CLARO VIENTO (m.) : 400.0
 CLARO PESO (m.) : 500.0 máx. 400.0 min
 ANGULO (Deg.) : .0
 HIPÓTESIS DESBALANCEO (RUPTURA DEL CONDUCTOR) - SIN VIENTO

F.S. = 1.0

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor: $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.01813 \text{ m} \times 400 \text{ m} = 0.0 \text{ kg}$
 - Viento sobre aislador : $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.3 \text{ m}^2 = 0.0 \text{ kg}$
 - Esfuerzo de ángulo $2 \times \text{sen} 0/2 \times 1350 \text{ kg} \times 1 = 0.0 \text{ kg}$

Total 0.0 kg

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 500 \text{ m} = 363. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

cable intacto Total 485. kg

- Peso del conductor: $(1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 500 \text{ m}) \times 0.75 = 272. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

ruptura de cable Total 395. kg

Vertical mínimo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 400 \text{ m} = 290. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

cable intacto Total 415. kg

- Peso del conductor: $(1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 400 \text{ m}) \times 0.75 = 218. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

ruptura de cable Total 340. kg

CARGAS LONGITUDINALES

- Conductor $1 \times 1350 \text{ kg} \times 0.8 = 1080. \text{ kg}$
 Total 1080. kg

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR : ACSR "WOLF"
TIPO DE APOYO : S1 - SUSPENSION 0°
CLARO BASICO (m.) : 400.0
CLARO VIENTO (m.) : 400.0
CLARO PESO (m.) : 500.0 máx.
ANGULO (Deg.) : .0

HIPÓTESIS: CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO - SIN VIENTO

F.S.= 2.0

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor: $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1(Cx) \times 0.01813 \text{ m} \times 400 \text{ m} = 0.0 \text{ kg}$
- Viento sobre aislador : $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1(Cx) \times 0.3 \text{ m}^2 = 0.0 \text{ kg}$
- Esfuerzo de ángulo $2 \times \text{sen} 0/2 \times 1661 \text{ kg} \times 1 = 0.0 \text{ kg}$

Total 0.0 kg

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $(1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 500 \text{ m} \times 2) + 500 \text{ kg} = 1226. \text{ kg}$
- Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

Total 1350. kg

CARGAS LONGITUDINALES

Carga longitudinal debido al anclaje del cable conductor anclado a una distancia de 2.5 veces la distancia de la altura de la llegada del conductor

- Conductor $1661 \text{ kg} - 1661 \times \cos 25^\circ = 156. \text{ kg}$
Total 160. kg

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR : ACSR "WOLF"
TIPO DE APOYO : S1 - SUSPENSION 1°
CLARO BASICO (m.) : 350.0
CLARO VIENTO (m.) : 350.0
CLARO PESO (m.) : 450.0 máx. 350.0 min
ANGULO (Deg.) : 1.0

HIPÓTESIS NORMAL VIENTO TRANSVERSAL 90°

F.S. = 1.8

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor: $1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.01813 \text{ m} \times 350 \text{ m} = 496.0 \text{ kg}$
- Viento sobre aislador : $1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.3 \text{ m}^2 = 23.0 \text{ kg}$
- Esfuerzo de ángulo $2 \times \text{sen} 1/2 \times 2570 \text{ kg} \times 1 = 45.0 \text{ kg}$
Total 565.0 kg

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR
- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 450 \text{ m} = 327. \text{ kg}$
- Peso del aislador: = 120. kg
Total 450. kg

Vertical mínimo

CONDUCTOR
- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 350 \text{ m} = 254. \text{ kg}$
- Peso del aislador: = 120. kg
Total 375. kg

CARGAS LONGITUDINALES

- Conductor .0 = 0.

Viento transversal en una cara de la torre = $78.1 \text{ kg/m}^2 \times \text{factor de arrastre}$

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR : ACSR "WOLF"
 TIPO DE APOYO : SI - SUSPENSION 1°
 CLARO BASICO (m.) : 350.0
 CLARO VIENTO (m.) : 350.0
 CLARO PESO (m.) : 450.0 máx. 350.0 min
 ANGULO (Deg.) : 1.0

HIPÓTESIS NORMAL VIENTO DIAGONAL 45°

F.S.= 1.8

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor: $1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1(Cx) \times 0.01813 \text{ m} \times 350 \text{ m} \times \text{sen}^2 45 = 248.0 \text{ kg}$
 - Viento sobre aislador : $1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 1(Cx) \times 0.3 \text{ m}^2 \times 0.70 = 16.0 \text{ kg}$
 - Esfuerzo de ángulo $2 \times \text{sen} 1/2 \times 1862 \text{ kg} \times 1 = 32.0 \text{ kg}$

Total 300.0 kg

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 450 \text{ m} = 327. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

Total 450. kg

Vertical mínimo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 350 \text{ m} = 254. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

Total 375. kg

CARGAS LONGITUDINALES

- Conductor $1 \times 78.1 \text{ kg/m}^2 \times 2 \times 1(Cx) \times 0.3 \text{ m}^2 \times 0.70 = 16.0 \text{ kg}$
 total 20.0 kg

Viento transversal y longitudinal = $78.1 \text{ kg/m}^2 \times \cos 45 \times 1.2 \times \text{factor de arrastre}$
 en una cara de la torre

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR : ACSR "WOLF"
 TIPO DE APOYO : S1 - SUSPENSION 1°
 CLARO BASICO (m.) : 350.0
 CLARO VIENTO (m.) : 350.0
 CLARO PESO (m.) : 450.0 máx. 350.0 min
 ANGULO (Deg.) : 1.0
 HIPÓTESIS DESBALANCEO (RUPTURA DEL CONDUCTOR) - SIN VIENTO
 F.S. = 1.0

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor: $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.01813 \text{ m} \times 400 \text{ m} = 0.0 \text{ kg}$
 - Viento sobre aislador : $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1 (Cx) \times 0.3 \text{ m}^2 = 0.0 \text{ kg}$
 - Esfuerzo de ángulo $2 \times \text{sen} 1/2 \times 1350 \text{ kg} \times 1 = 24.0 \text{ kg}$

cable intacto Total 25.0 kg
 ruptura de cable $0.6 \times 25.0 \text{ kg} = 15.0 \text{ kg}$

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR
 - Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 450 \text{ m} = 327. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

cable intacto Total 450. kg

- Peso del conductor: $(1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 450 \text{ m}) \times 0.75 = 245. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

ruptura de cable Total 370. kg

Vertical mínimo

CONDUCTOR
 - Peso del conductor: $1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 350 \text{ m} = 254. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

cable intacto Total 375. kg

- Peso del conductor: $(1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 350 \text{ m}) \times 0.75 = 191. \text{ kg}$
 - Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

ruptura de cable Total 315. kg

CARGAS LONGITUDINALES

- Conductor $1 \times 1350 \text{ kg} \times 0.8 = 1080. \text{ kg}$
 Total 1080. kg

LINEA 110 KV S.C.

CONDUCTOR : ACSR "WOLF"
TIPO DE APOYO : S1 - SUSPENSION 1°
CLARO BASICO (m.) : 350.0
CLARO VIENTO (m.) : 350.0
CLARO PESO (m.) : 450.0 máx.
ANGULO (Deg.) : 1.0

HIPÓTESIS: CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO - SIN VIENTO

F.S. = 2.0

CARGAS TRANSVERSALES

CONDUCTOR

- Viento sobre conductor: $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1 (\text{Cx}) \times 0.01813 \text{ m} \times 400 \text{ m} = 0.0 \text{ kg}$
- Viento sobre aislador : $1 \times 0.0 \text{ kg/m}^2 \times 1 (\text{Cx}) \times 0.3 \text{ m}^2 = 0.0 \text{ kg}$
- Esfuerzo de ángulo $2 \times \text{sen} 1/2 \times 1661 \text{ kg} \times 1 = 29.0 \text{ kg}$

Total 30.0 kg

CARGAS VERTICALES

Vertical máximo

CONDUCTOR

- Peso del conductor: $(1 \times 0.726 \text{ kg/m} \times 450 \text{ m} \times 2) + 500 \text{ kg} = 1153. \text{ kg}$
- Peso del aislador: $= 120. \text{ kg}$

Total 1275. kg

CARGAS LONGITUDINALES

Carga longitudinal debido al anclaje del cable conductor anclado a una distancia de 2.5 veces la distancia de la altura de la llegada del conductor

- Conductor $1661 \text{ kg} - 1661 \times \cos 25^\circ = 156. \text{ kg}$
Total 160. kg

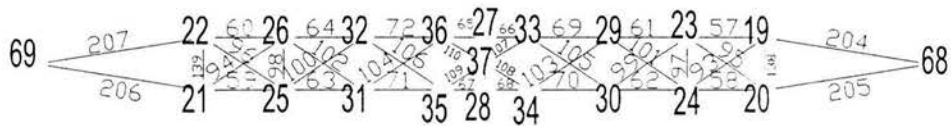
4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ELÁSTICO.

4.1 Geometría de la Torre (para la máxima altura)

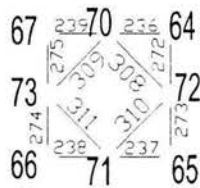
Las coordenadas del modelo para la máxima altura son presentadas en el *Anexo A-1 Coordenadas de Nudos* así como las incidencias para la máxima estructura son presentadas en el *Anexo A-2 Incidencias de miembro (máxima altura)*

4.1.1 Diagrama de Nudos

En los diagramas siguientes se presenta la numeración de cada nudo y de cada barra utilizados por el programa.



VISTA A-A



VISTA B-B

Fig. 4-1 Vista A-A (ménsula) y Vista B-B (cintura)

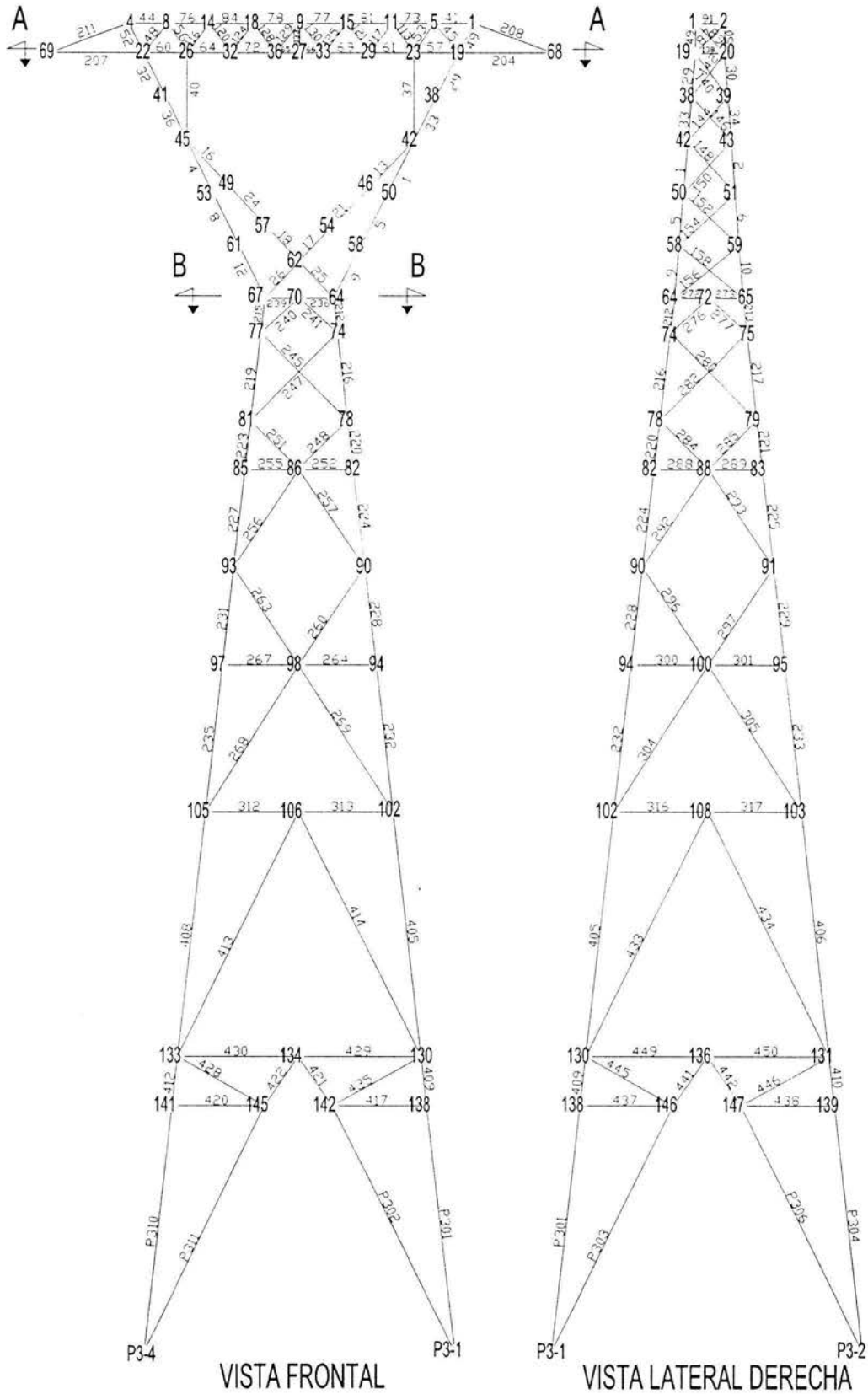


Fig. 4-2 Vista frontal con vista lateral derecha

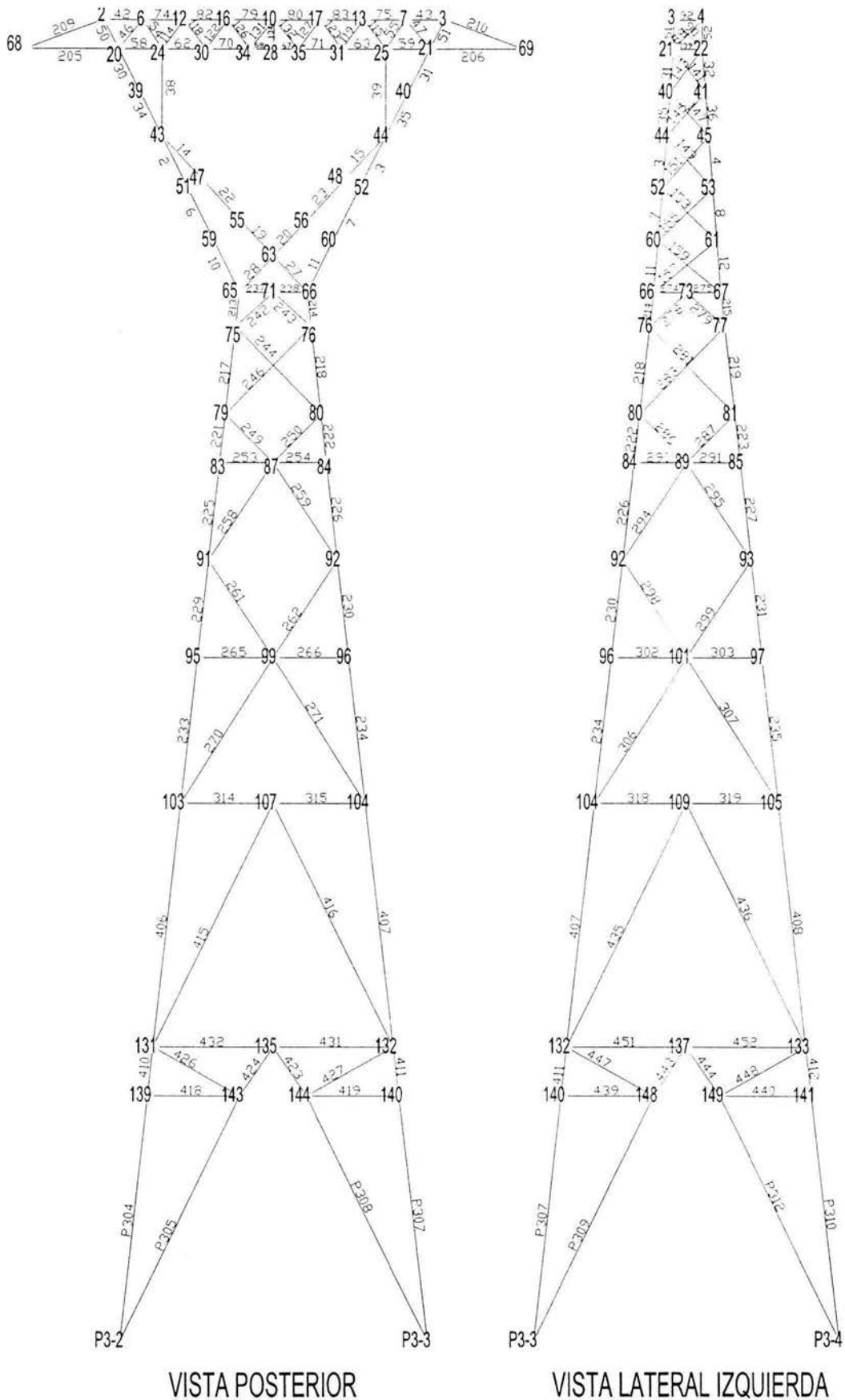


Fig. 4-3 Vista posterior con vista lateral derecha

4.2 Cargas aplicadas

4.2.1 Factor de arrastre C.

Para calcular el factor de arrastre el primer paso es indicar la aplicación del viento, como se muestra en la siguiente figura con línea punteada.

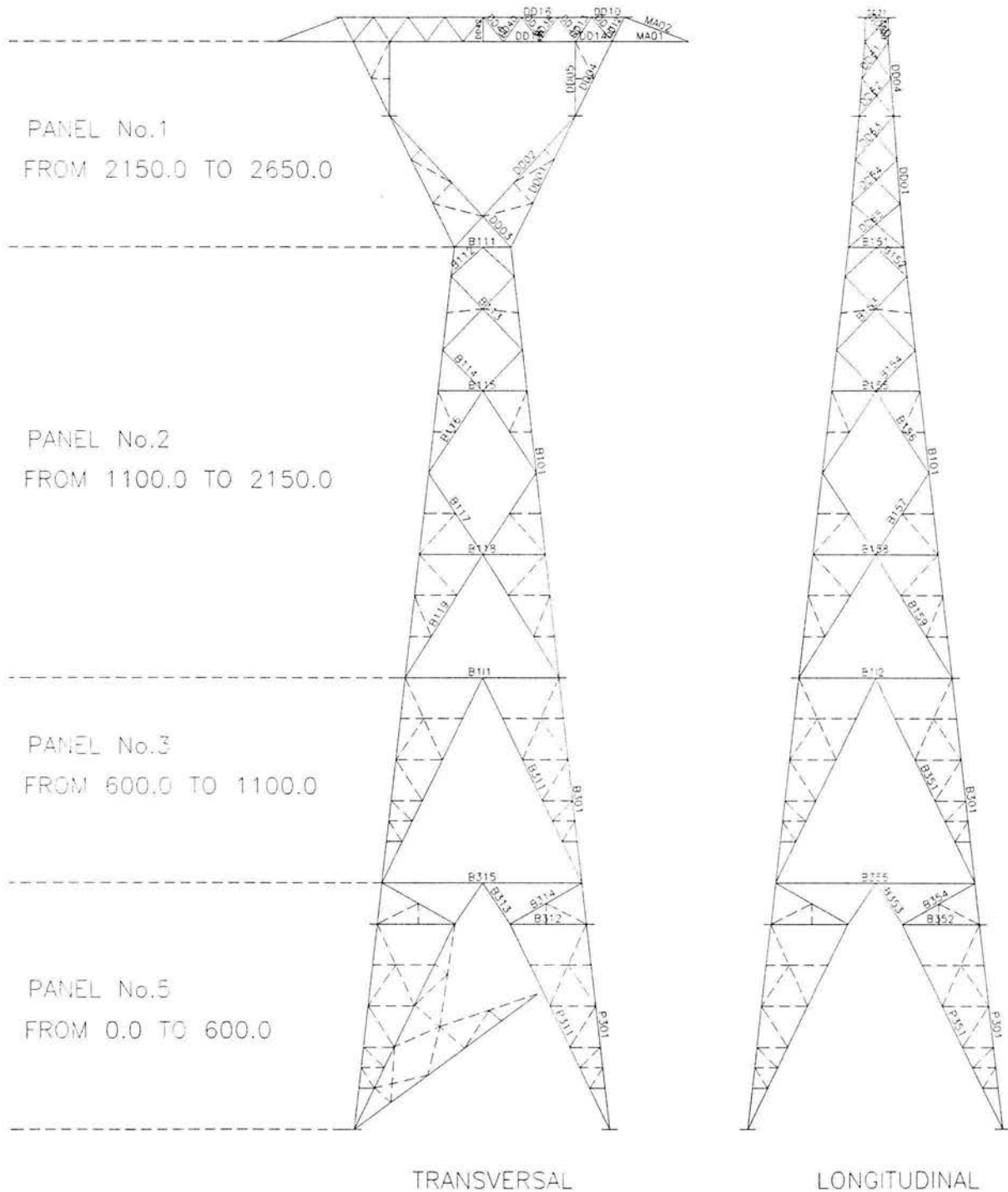


Fig. 4-4 Aplicación del viento sobre la estructura

El factor de arrastre es calculado de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3, en el punto 3.3.

Para Viento Transversal en la Torre

Para crucetas o mensulas C = 3.50

- Cara Longitudinal - Panel No. 1 (de 21.5m a 26.5m)	2.459 m ² *
$\frac{(0.6 + 1.4) \times 5}{2} = 5.000 \text{ m}^2 \text{ **}$	
$f_i = \frac{2.459}{5.000} = 0.492$	
$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.492)$	
$C = 1.85$	
- Cara Longitudinal - Panel No. 2 (de 11.0m a 21.5m)	3.696 m ² *
$\frac{(1.4 + 3.81) \times 10.5}{2} = 27.353 \text{ m}^2 \text{ **}$	
$f_i = \frac{3.696}{27.353} = 0.135$	
$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.135)$	
$C = 3.63$	
- Cara Longitudinal - Panel No. 3 (de 6.00m a 11.00m)	2.481 m ² *
$\frac{(3.81 + 4.95) \times 5}{2} = 21.900 \text{ m}^2 \text{ **}$	
$f_i = \frac{2.481}{21.900} = 0.113$	
$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.113)$	
$C = 3.73$	
- Cara Longitudinal - Panel No. 5 (de 0.0m a 6.0m)	2.632 m ² *
$\frac{(4.95 + 6.34) \times 7}{2} = 39.515 \text{ m}^2 \text{ **}$	
$f_i = \frac{2.632}{39.52} = 0.067$	
$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.067)$	
$C = 3.97$	

* :área frontal calculada por el programa

** :área incluida por el límite del bastidor

Para Viento Longitudinal en al Torre

- Cara Transversal	- Panel No. 1 (de 21.5m a 26.5m)	3.419 m ² *
	$\frac{(6.4 + 1.4) \times 5}{2} = 19.500 \text{ m}^2 \text{ **}$	
	$f_i = 3.419 / 19.500 = 0.175$	
	$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.175)$	
	$C = 3.43$	
- Cara Transversal	- Panel No. 2 (de 11.0m a 21.5m)	3.696 m ² *
	$\frac{(1.4 + 3.81) \times 10.5}{2} = 27.353 \text{ m}^2 \text{ **}$	
	$f_i = 3.696 / 27.353 = 0.135$	
	$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.135)$	
	$C = 3.63$	
- Cara Transversal	- Panel No. 3 (de 6.00m a 11.0m)	2.481 m ² *
	$\frac{(3.81 + 4.95) \times 5}{2} = 21.900 \text{ m}^2 \text{ **}$	
	$f_i = 2.481 / 21.900 = 0.113$	
	$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.113)$	
	$C = 3.73$	
-Cara Transversal	- Panel No. 5 (de 0.0m a 6.0m)	2.632 m ² *
	$\frac{(4.95 + 6.34) \times 7}{2} = 39.515 \text{ m}^2 \text{ **}$	
	$f_i = 2.632 / 39.52 = 0.067$	
	$C = 4.30 \times (1 - 1.16 \times 0.067)$	
	$C = 3.97$	

* :área frontal calculada por el programa

** :área incluida por el límite del bastidor

4.2.2 Carga de viento en la torre (máxima altura)

ABB SAE S.p.A. TOSCA - rel 2.02
S1.S602

CALCULATION OF EXPOSED WIND AREA OF ONE FACE OF TOWER

Ident	Position	No.	Leg	Len-|	Exposed|	Center|	Concentr.	area
|	| and Type|	|	| Size|	gth |	area |	beam |	Bottom	Upper |

- Longitudinal face - Panel No. 1 from 2650.0 to 2710.0								
DD10	S WEB	2	50	0	0.000	2710.0	0.000	0.000
DD12	S LEG	2	60	60	0.072	2680.0	0.036	0.036
DD20	L WEB	2	40	85	0.068	2680.0	0.034	0.034
DD21	L WEB	1	40	60	0.024	2710.0	0.000	0.024
MA01	S CHRD	2	50	30	0.030	2650.0	0.030	0.000
MA0101	S RDNT	2	45	38	0.034	2667.8	0.024	0.010
MA0102	S RDNT	2	40	36	0.029	2667.8	0.020	0.008
MA02	S HNGR	2	45	67	0.060	2680.0	0.030	0.030
Total	.....				0.317		0.174	0.143
- Longitudinal face - Panel No. 2 from 2470.0 to 2650.0								
DD04	S LEG	2	60	181	0.217	2560.0	0.108	0.108
DD0401	S RDNT	2	40	90	0.072	2605.3	0.018	0.054
DD0402	S RDNT	2	40	1	0.001	2560.2	0.000	0.000
DD05	S WEB	2	50	181	0.181	2560.0	0.090	0.090
DD0501	L RDNT	1	40	121	0.048	2600.0	0.013	0.035
DD0502	L RDNT	1	40	76	0.030	2550.0	0.017	0.014
DD61	L WEB	2	40	112	0.089	2605.3	0.022	0.067
DD62	L WEB	2	40	122	0.098	2515.3	0.073	0.025
Total	.....				0.736		0.342	0.393
- Longitudinal face - Panel No. 3 from 2150.0 to 2470.0								
B151	L WEB	1	50	140	0.070	2150.0	0.070	0.000
DD01	S LEG	2	60	321	0.385	2310.0	0.193	0.193
DD02	S WEB	2	50	246	0.246	2347.4	0.094	0.152
DD63	L WEB	2	40	144	0.116	2416.6	0.019	0.096
DD64	L WEB	2	40	156	0.125	2309.9	0.063	0.063
DD65	L WEB	2	40	169	0.135	2203.3	0.113	0.023
DD81	L WEB	2	40	130	0.104	2426.3	0.014	0.090
DD82	L WEB	2	40	140	0.112	2338.7	0.046	0.066
DD83	L WEB	2	40	141	0.113	2259.8	0.074	0.039
Total	.....				1.406		0.686	0.720
- Longitudinal face - Panel No. 4 from 1100.0 to 2150.0								
B101	S LEG	2	60	1057	1.268	1625.0	0.634	0.634
B152	L WEB	2	40	105	0.084	2115.0	0.003	0.081
B153	L WEB	2	40	252	0.202	1990.0	0.031	0.171
B15301	L RDNT	2	40	89	0.071	1995.3	0.010	0.061
B154	L WEB	2	40	141	0.112	1850.0	0.032	0.080
B155	L HORZ	1	45	220	0.099	1800.0	0.033	0.066
B156	L WEB	2	40	240	0.192	1700.0	0.082	0.110
B15601	L RDNT	2	40	109	0.087	1750.0	0.033	0.054
B15602	L RDNT	2	40	55	0.044	1700.0	0.019	0.025
B157	L WEB	2	40	240	0.192	1500.0	0.119	0.073
B15701	L RDNT	2	40	134	0.107	1450.0	0.072	0.036
B15702	L RDNT	2	40	78	0.062	1500.0	0.039	0.024
B158	L HORZ	1	60	312	0.187	1400.0	0.134	0.054
B159	L WEB	2	60	355	0.427	1250.0	0.366	0.061
B15901	L RDNT	2	40	136	0.109	1350.0	0.083	0.026
B15902	L RDNT	2	45	104	0.094	1300.0	0.076	0.018
B15903	L RDNT	2	40	108	0.086	1250.0	0.074	0.012
B15904	L RDNT	2	40	52	0.042	1200.0	0.038	0.004
B1I2	L WEB	1	60	381	0.229	1100.0	0.229	0.000
Total	.....				3.696		2.106	1.590

Ident	Position	No.	Leg	Len-	Exposed	Center	Concentr.	area
	and Type		Size	gth	area	beam	Bottom	Upper
- Longitudinal face - Panel No. 5 from 600.0 to 1100.0								
B301	S	LEG	2	70	604	0.846	800.0	0.507
B351	L	WEB	2	45	558	0.502	850.0	0.251
B35101	L	RDNT	2	40	220	0.176	1000.0	0.035
B35102	L	RDNT	2	40	121	0.097	950.0	0.029
B35103	L	RDNT	2	40	57	0.046	1000.0	0.009
B35104	L	RDNT	2	40	95	0.076	1000.0	0.015
B35105	L	RDNT	2	45	114	0.103	900.0	0.041
B35106	L	RDNT	2	40	119	0.095	850.0	0.048
B35107	L	RDNT	2	40	76	0.061	800.0	0.037
B35108	L	RDNT	2	40	72	0.057	775.0	0.037
B35109	L	RDNT	2	40	57	0.046	750.0	0.032
B35110	L	RDNT	2	40	60	0.048	725.0	0.036
B35111	L	RDNT	2	40	38	0.030	700.0	0.024
B355	L	WEB	1	60	496	0.298	600.0	0.298
Total					2.481		1.399	1.081
- Longitudinal face - Panel No. 7 from 0.0 to 600.0								
B352	L	HORZ	2	50	191	0.190	500.0	0.032
B353	L	WEB	2	40	121	0.097	550.0	0.008
B354	L	WEB	2	60	205	0.246	550.0	0.021
B35401	L	RDNT	2	40	113	0.090	525.0	0.011
B35402	L	RDNT	2	40	50	0.040	525.0	0.005
P301	S	LEG	2	70	503	0.705	250.0	0.411
P351	L	WEB	2	50	558	0.558	250.0	0.326
P35101	L	RDNT	2	40	220	0.176	400.0	0.059
P35102	L	RDNT	2	40	121	0.097	350.0	0.040
P35103	L	RDNT	2	40	57	0.046	400.0	0.015
P35104	L	RDNT	2	40	95	0.076	400.0	0.025
P35105	L	RDNT	2	45	114	0.103	300.0	0.051
P35106	L	RDNT	2	40	119	0.095	250.0	0.056
P35107	L	RDNT	2	40	76	0.061	200.0	0.041
P35108	L	RDNT	2	40	72	0.057	175.0	0.041
P35109	L	RDNT	2	40	57	0.046	150.0	0.034
P35110	L	RDNT	2	40	60	0.048	125.0	0.038
P35111	L	RDNT	2	40	38	0.030	100.0	0.025
Total					2.762		1.239	1.523
- Transversal face - Panel No. 1 from 2650.0 to 2710.0								
DD10	S	WEB	2	50	80	0.080	2710.0	0.000
DD11	T	WEB	2	40	78	0.062	2680.0	0.031
DD12	S	LEG	2	60	67	0.080	2680.0	0.040
DD13	T	WEB	2	40	72	0.058	2680.0	0.029
DD14	T	CHRD	2	50	90	0.090	2650.0	0.090
DD15	T	CHRD	2	50	230	0.230	2650.0	0.230
DD16	T	WEB	2	50	270	0.270	2710.0	0.000
DD37	T	WEB	2	40	75	0.060	2680.0	0.030
DD38	T	WEB	2	40	75	0.060	2680.0	0.030
DD39	T	WEB	2	40	75	0.060	2680.0	0.030
DD40	T	WEB	2	40	75	0.060	2680.0	0.030
DD41	T	WEB	2	40	78	0.062	2680.0	0.031
DD42	T	WEB	1	45	60	0.027	2680.0	0.014
MA01	S	CHRD	2	50	190	0.190	2650.0	0.190
MA0101	S	RDNT	2	45	101	0.091	2667.8	0.064
MA0102	S	RDNT	2	40	36	0.028	2667.8	0.020
MA02	S	HNGR	2	45	171	0.154	2680.0	0.077
Total					1.664		0.936	0.728
- Transversal face - Panel No. 2 from 2470.0 to 2650.0								
DD04	S	LEG	2	60	201	0.241	2560.0	0.121
DD0401	S	RDNT	2	40	100	0.080	2605.3	0.020
DD0402	S	RDNT	2	40	45	0.036	2560.2	0.018
DD05	S	WEB	2	50	180	0.180	2560.0	0.090
Total					0.538		0.249	0.289

Ident	Position	No.	Leg	Len-	Exposed	Center	Concentr.	area
	and Type	Size	gth	area	beam	Bottom	Upper	
- Transversal face - Panel No. 3 from 2150.0 to 2470.0								
B111	T WEB	1	50	140	0.070	2150.0	0.070	0.000
DD01	S LEG	2	60	358	0.429	2310.0	0.215	0.215
DD0101	T RDNT	2	40	112	0.090	2222.1	0.070	0.020
DD0102	T RDNT	2	50	126	0.126	2247.0	0.088	0.038
DD0103	T RDNT	2	40	68	0.055	2281.6	0.032	0.022
DD0104	T RDNT	2	40	115	0.092	2335.0	0.039	0.053
DD0105	T RDNT	2	40	34	0.027	2375.9	0.008	0.019
DD02	S WEB	2	50	336	0.336	2347.4	0.129	0.207
DD03	T WEB	2	40	102	0.082	2187.4	0.072	0.010
Total					1.308		0.722	0.585
- Transversal face - Panel No. 4 from 1100.0 to 2150.0								
B101	S LEG	2	60	1057	1.268	1625.0	0.634	0.634
B112	T WEB	2	40	105	0.084	2115.0	0.003	0.081
B113	T WEB	2	40	252	0.202	1990.0	0.031	0.171
B11301	T RDNT	2	40	89	0.071	1995.3	0.010	0.061
B114	T WEB	2	40	141	0.112	1850.0	0.032	0.080
B115	T HORZ	1	45	220	0.099	1800.0	0.033	0.066
B116	T WEB	2	40	240	0.192	1700.0	0.082	0.110
B11601	T RDNT	2	40	109	0.087	1750.0	0.033	0.054
B11602	T RDNT	2	40	55	0.044	1700.0	0.019	0.025
B117	T WEB	2	40	240	0.192	1500.0	0.119	0.073
B11701	T RDNT	2	40	134	0.107	1450.0	0.072	0.036
B11702	T RDNT	2	40	78	0.062	1500.0	0.039	0.024
B118	T HORZ	1	60	312	0.187	1400.0	0.134	0.054
B119	T WEB	2	60	355	0.427	1250.0	0.366	0.061
B11901	T RDNT	2	40	136	0.109	1350.0	0.083	0.026
B11902	T RDNT	2	45	104	0.094	1300.0	0.076	0.018
B11903	T RDNT	2	40	108	0.086	1250.0	0.074	0.012
B11904	T RDNT	2	40	52	0.042	1200.0	0.038	0.004
B111	T WEB	1	60	381	0.229	1100.0	0.229	0.000
Total					3.696		2.106	1.590
- Transversal face - Panel No. 5 from 600.0 to 1100.0								
B301	S LEG	2	70	604	0.846	800.0	0.507	0.338
B311	T WEB	2	45	558	0.502	850.0	0.251	0.251
B31101	T RDNT	2	40	220	0.176	1000.0	0.035	0.141
B31102	T RDNT	2	40	121	0.097	950.0	0.029	0.068
B31103	T RDNT	2	40	57	0.046	1000.0	0.009	0.037
B31104	T RDNT	2	40	95	0.076	1000.0	0.015	0.061
B31105	T RDNT	2	45	114	0.103	900.0	0.041	0.062
B31106	T RDNT	2	40	119	0.095	850.0	0.048	0.048
B31107	T RDNT	2	40	76	0.061	800.0	0.037	0.024
B31108	T RDNT	2	40	72	0.057	775.0	0.037	0.020
B31109	T RDNT	2	40	57	0.046	750.0	0.032	0.014
B31110	T RDNT	2	40	60	0.048	725.0	0.036	0.012
B31111	T RDNT	2	40	38	0.030	700.0	0.024	0.006
B315	T WEB	1	60	496	0.298	600.0	0.298	0.000
Total					2.481		1.399	1.081
- Transversal face - Panel No. 7 from 0.0 to 600.0								
B312	T HORZ	2	50	191	0.190	500.0	0.032	0.159
B313	T WEB	2	40	121	0.097	550.0	0.008	0.089
B314	T WEB	2	60	205	0.246	550.0	0.021	0.226
B31401	T RDNT	2	40	113	0.090	525.0	0.011	0.079
B31402	T RDNT	2	40	50	0.040	525.0	0.005	0.035
P301	S LEG	2	70	503	0.705	250.0	0.411	0.294
P311	T WEB	2	50	558	0.558	250.0	0.326	0.233
P31101	T RDNT	2	40	220	0.176	400.0	0.059	0.117
P31102	T RDNT	2	40	121	0.097	350.0	0.040	0.057
P31103	T RDNT	2	40	57	0.046	400.0	0.015	0.030
P31104	T RDNT	2	40	95	0.076	400.0	0.025	0.051

Ident	Position and Type	No.	Leg Size	Len- gth	Exposed area	Center beam	Concentr. area Bottom	Upper
P31105	T RDNT	2	45	114	0.103	300.0	0.051	0.051
P31106	T RDNT	2	40	119	0.095	250.0	0.056	0.040
P31107	T RDNT	2	40	76	0.061	200.0	0.041	0.020
P31108	T RDNT	2	40	72	0.057	175.0	0.041	0.017
P31109	T RDNT	2	40	57	0.046	150.0	0.034	0.011
P31110	T RDNT	2	40	60	0.048	125.0	0.038	0.010
P31111	T RDNT	2	40	38	0.030	100.0	0.025	0.005
Total					2.762		1.239	1.523

TRANSVERSAL WIND LOAD ON TOWER

level	pheight	nodes				exp.area	con.area
2710.00		1	2	3	4		0.143
	60.00					0.317	
2650.00		19	20	21	22		0.567
	180.00					0.736	
2470.00		42	43	44	45		1.063
	320.00					1.406	
2150.00		64	65	66	67		2.276
	1050.00					3.696	
1100.00		102	103	104	105		3.187
	500.00					2.481	
600.00		130	131	132	133		2.923
	600.00					2.762	
0.00							1.239
Total exposed area						11.397	

LONGITUDINAL WIND LOAD ON TOWER

level	pheight	nodes				exp.area	con.area
2710.00		1	2	3	4		0.728
	60.00					1.664	
2650.00		19	20	21	22		1.225
	180.00					0.538	
2470.00		42	43	44	45		0.834
	320.00					1.308	
2150.00		64	65	66	67		2.312
	1050.00					3.696	
1100.00		102	103	104	105		3.187
	500.00					2.481	
600.00		130	131	132	133		2.923
	600.00					2.762	
0.00							1.239
						12.447	

HEIGHT FACTOR

level	pheight	tab1	tab2	tab3	tab4	tab5
2710.00		1.000	3.500	0.000	0.000	0.000
	60.00					
2650.00		1.000	3.500	0.000	0.000	0.000
	180.00					
2470.00		1.000	3.500	0.000	0.000	0.000
	320.00					
2150.00		1.000	3.650	0.000	0.000	0.000
	1050.00					
1100.00		1.000	3.650	0.000	0.000	0.000
	500.00					
600.00		1.000	3.750	0.000	0.000	0.000
	600.00					
0.00		1.000	3.970	0.000	0.000	0.000

4.3 Lista de cargas aplicadas

ABB SAE S.p.A. TOSCA - rel 2.02
S1.S602

*** APPLIED LOADS ***

loading	node	x-dir	y-dir	z-dir	x-wload	y-wload	nodes				note	
1	69	0	1062	-873	0	70	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 140 kg/m2 height coeff. : table = 2 dead weight OVL : z-dir = -1.80	
	37	0	1062	-873	0	278	19	20	21	22		
	68	0	1062	-873	0	521	42	43	44	45		
						0	1163	64	65	66		67
	Wind	0	5882	0	0	1628	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-5588	0	1534	130	131	132	133		
	Tot.	0	9068	-8307	0	688	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
1C	69	0	1062	-738	0	70	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 140 kg/m2 height coeff. : table = 2 dead weight OVL : z-dir = -1.00	
	37	0	1062	-738	0	278	19	20	21	22		
	68	0	1062	-738	0	521	42	43	44	45		
						0	1163	64	65	66		67
	Wind	0	5882	0	0	1628	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-3160	0	1534	130	131	132	133		
	Tot.	0	9068	-5374	0	688	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
2	69	36	540	-873	306	60	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 120 kg/m2 : y-dir = 120 kg/m2 height coeff. : table = 2 dead weight OVL : z-dir = -1.80	
	37	36	540	-873	515	238	19	20	21	22		
	68	36	540	-873	350	446	42	43	44	45		
					1013	997	64	65	66	67		
	Wind	5485	5042	0	1396	1396	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-5588	1315	1315	130	131	132	133		
	Tot.	5593	6662	-8307	590	590	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
2C	69	36	540	-738	306	60	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 120 kg/m2 : y-dir = 120 kg/m2 height coeff. : table = 2 dead weight OVL : z-dir = -1.00	
	37	36	540	-738	515	238	19	20	21	22		
	68	36	540	-738	350	446	42	43	44	45		
					1013	997	64	65	66	67		
	Wind	5485	5042	0	1396	1396	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-3160	1315	1315	130	131	132	133		
	Tot.	5593	6662	-5374	590	590	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
3	69	1080	0	-395	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00	
	37	0	0	-485	0	0	19	20	21	22		
	68	0	0	-485	0	0	42	43	44	45		
					0	0	64	65	66	67		
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133		
	Tot.	1080	0	-4525	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
3C	69	1080	0	-340	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00	
	37	0	0	-410	0	0	19	20	21	22		
	68	0	0	-410	0	0	42	43	44	45		
					0	0	64	65	66	67		
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133		
	Tot.	1080	0	-4320	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
4	69	0	0	-485	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00	
	37	1080	0	-395	0	0	19	20	21	22		
	68	0	0	-485	0	0	42	43	44	45		
					0	0	64	65	66	67		
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133		
	Tot.	1080	0	-4525	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
4C	69	0	0	-410	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00	
	37	1080	0	-340	0	0	19	20	21	22		
	68	0	0	-410	0	0	42	43	44	45		
					0	0	64	65	66	67		
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133		
	Tot.	1080	0	-4320	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
5	69	0	0	-485	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00	
	37	0	0	-485	0	0	19	20	21	22		
	68	1080	0	-395	0	0	42	43	44	45		
					0	0	64	65	66	67		
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105		
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133		
	Tot.	1080	0	-4525	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		

loading	node	x-dir	y-dir	z-dir	x-wload	y-wload	nodes	note
5C	69	0	0	-410	0	0	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	0	0	-410	0	0	19 20 21 22	: y-dir = 0 kg/m2
	68	1080	0	-340	0	0	42 43 44 45	height coeff. : table = 1
					0	0	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -1.00
	Wind	0	0	0	0	0	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-3150	0	0	130 131 132 133	
	Tot.	1080	0	-4320	0	0	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
6	69	320	0	-2700	0	0	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	0	0	0	0	0	19 20 21 22	: y-dir = 0 kg/m2
	68	0	0	0	0	0	42 43 44 45	height coeff. : table = 1
					0	0	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -2.00
	Wind	0	0	0	0	0	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-5320	0	0	130 131 132 133	
	Tot.	320	0	-9020	0	0	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
6C	69	320	0	-2410	0	0	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	0	0	0	0	0	19 20 21 22	: y-dir = 0 kg/m2
	68	0	0	0	0	0	42 43 44 45	height coeff. : table = 1
					0	0	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -1.00
	Wind	0	0	0	0	0	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-3150	0	0	130 131 132 133	
	Tot.	320	0	-5570	0	0	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
7	69	320	0	-2700	0	0	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	320	0	-2700	0	0	19 20 21 22	: y-dir = 0 kg/m2
	68	0	0	0	0	0	42 43 44 45	height coeff. : table = 1
					0	0	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -2.00
	Wind	0	0	0	0	0	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-5320	0	0	130 131 132 133	
	Tot.	640	0	-11720	0	0	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
7C	69	320	0	-2410	0	0	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	320	0	-2410	0	0	19 20 21 22	: y-dir = 0 kg/m2
	68	0	0	0	0	0	42 43 44 45	height coeff. : table = 1
					0	0	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -1.00
	Wind	0	0	0	0	0	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-3150	0	0	130 131 132 133	
	Tot.	640	0	-7980	0	0	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
8	69	320	0	-2700	0	0	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	320	0	-2700	0	0	19 20 21 22	: y-dir = 0 kg/m2
	68	320	0	-2700	0	0	42 43 44 45	height coeff. : table = 1
					0	0	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -2.00
	Wind	0	0	0	0	0	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-6320	0	0	130 131 132 133	
	Tot.	960	0	-14420	0	0	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
8C	69	320	0	-2410	0	0	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	320	0	-2410	0	0	19 20 21 22	: y-dir = 0 kg/m2
	68	320	0	-2410	0	0	42 43 44 45	height coeff. : table = 1
					0	0	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -1.00
	Wind	0	0	0	0	0	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-3150	0	0	130 131 132 133	
	Tot.	960	0	-10390	0	0	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
9	69	0	1017	-810	0	70	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	0	1017	-810	0	278	19 20 21 22	: y-dir = 140 kg/m2
	68	0	1017	-810	0	521	42 43 44 45	height coeff. : table = 2
					0	1163	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -1.80
	Wind	0	5882	0	0	1628	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-5688	0	1534	130 131 132 133	
	Tot.	0	8933	-8118	0	688	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
9C	69	0	1017	-675	0	70	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2
	37	0	1017	-675	0	278	19 20 21 22	: y-dir = 140 kg/m2
	68	0	1017	-675	0	521	42 43 44 45	height coeff. : table = 2
					0	1163	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -1.00
	Wind	0	5882	0	0	1628	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-3150	0	1534	130 131 132 133	
	Tot.	0	8933	-5185	0	688	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	
10	69	36	540	-810	306	60	1 2 3 4	wind pressure : x-dir = 120 kg/m2
	37	36	540	-810	515	238	19 20 21 22	: y-dir = 120 kg/m2
	68	36	540	-810	350	446	42 43 44 45	height coeff. : table = 2
					1013	997	64 65 66 67	dead weight OVL : z-dir = -1.80
	Wind	5485	5042	0	1396	1396	102 103 104 105	
	Dead	0	0	-5688	1315	1315	130 131 132 133	
	Tot.	5593	6662	-8118	590	590	P3-1 P3-2 P3-3 P3-4	

loading	node	x-dir	y-dir	z-dir	x-wload	y-wload	nodes				note
10C	69	36	540	-675	306	60	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 120 kg/m2 : y-dir = 120 kg/m2 height coeff. : table = 2 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	36	540	-675	515	238	19	20	21	22	
	68	36	540	-675	350	446	42	43	44	45	
					1013	997	64	65	66	67	
	Wind	5485	5042	0	1396	1396	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	1315	1315	130	131	132	133	
	Tot.	5593	6662	-5185	590	590	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
11	69	1080	15	-365	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	0	25	-450	0	0	19	20	21	22	
	68	0	25	-450	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	1080	65	-4425	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
11C	69	1080	15	-315	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	0	25	-375	0	0	19	20	21	22	
	68	0	25	-375	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	1080	65	-4225	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
12	69	0	25	-450	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	1080	15	-365	0	0	19	20	21	22	
	68	0	25	-450	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	1080	65	-4425	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
12C	69	0	25	-375	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	1080	15	-315	0	0	19	20	21	22	
	68	0	25	-375	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	1080	65	-4225	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
13	69	0	25	-450	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	0	25	-450	0	0	19	20	21	22	
	68	1080	15	-365	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	1080	65	-4425	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
13C	69	0	25	-375	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	0	25	-375	0	0	19	20	21	22	
	68	1080	15	-315	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	1080	65	-4225	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
14	69	320	60	-2550	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -2.00
	37	0	0	0	0	0	19	20	21	22	
	68	0	0	0	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-6320	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	320	60	-8870	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
14C	69	320	60	-2260	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	0	0	0	0	0	19	20	21	22	
	68	0	0	0	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	320	60	-5420	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	
15	69	320	60	-2550	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -2.00
	37	320	60	-2550	0	0	19	20	21	22	
	68	0	0	0	0	0	42	43	44	45	
					0	0	64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-6320	0	0	130	131	132	133	
	Tot.	640	120	-11420	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	

loading	node	x-dir	y-dir	z-dir	x-wload	y-wload	nodes				note
15C	69	320	60	-2260	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	320	60	-2260	0	0	19	20	21	22	
	68	0	0	0	0	0	42	43	44	45	
							64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
Tot.	640	120	-7680	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
16	69	320	60	-2550	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -2.00
	37	320	60	-2550	0	0	19	20	21	22	
	68	320	60	-2550	0	0	42	43	44	45	
							64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-6320	0	0	130	131	132	133	
Tot.	960	180	-13970	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		
16C	69	320	60	-2260	0	0	1	2	3	4	wind pressure : x-dir = 0 kg/m2 : y-dir = 0 kg/m2 height coeff. : table = 1 dead weight OVL : z-dir = -1.00
	37	320	60	-2260	0	0	19	20	21	22	
	68	320	60	-2260	0	0	42	43	44	45	
							64	65	66	67	
	Wind	0	0	0	0	0	102	103	104	105	
	Dead	0	0	-3160	0	0	130	131	132	133	
Tot.	960	180	-9940	0	0	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4		

4.4 Diagramas de cargas

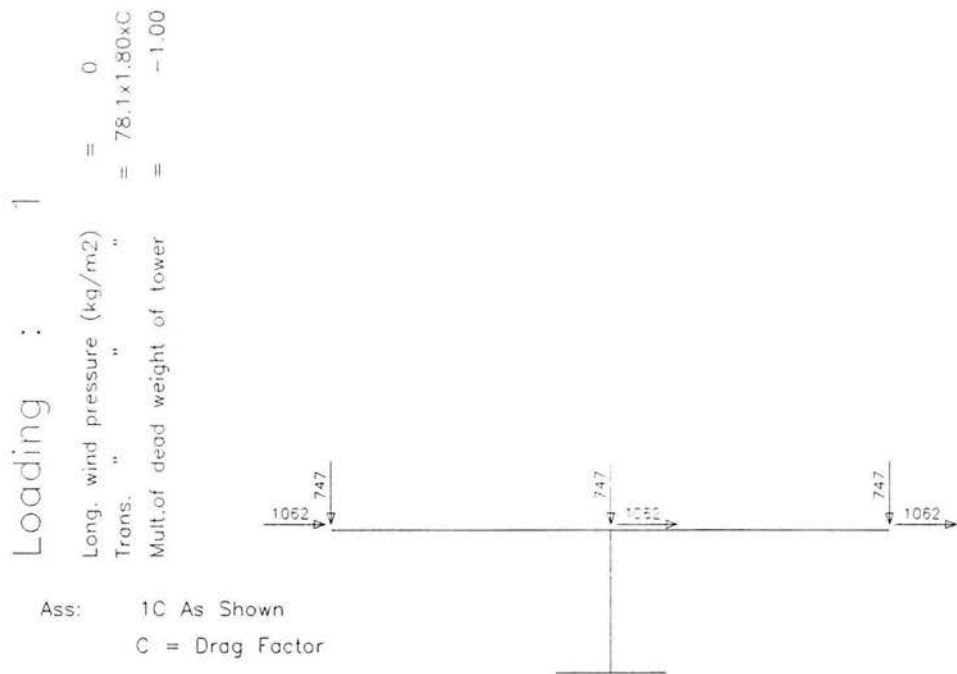
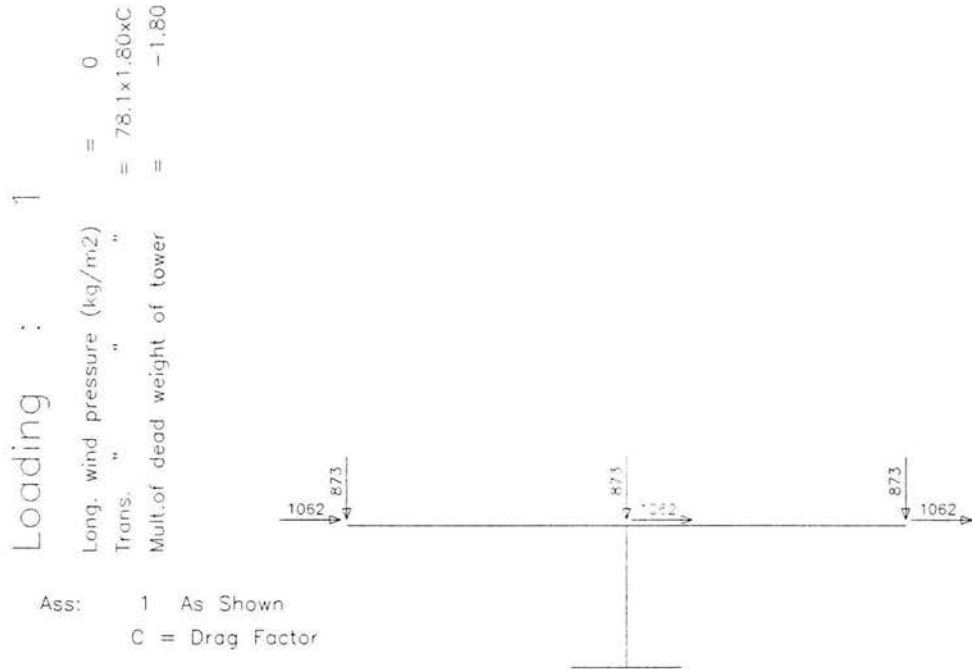
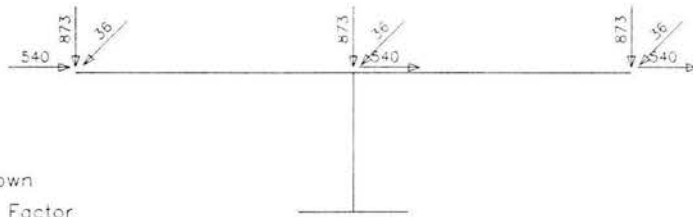


Fig. 4-5 Condición 1 Viento Normal con deflexión de la línea 0°, con carga vertical máxima y mínima en 1A y 1C respectivamente.

Loading : 2
 Long. wind pressure (kg/m²) = $78.1 \times 0.707 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Trans. " " " = $78.1 \times 0.707 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Mult. of dead weight of tower = -1.80

Ass: 2 As Shown
 C = Drag Factor



Loading : 2
 Long. wind pressure (kg/m²) = $78.1 \times 0.707 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Trans. " " " = $78.1 \times 0.717 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Mult. of dead weight of tower = -1.00

Ass: 2C As Shown
 C = Drag Factor

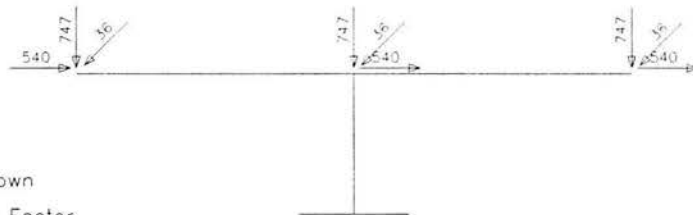


Fig. 4-6 Condición 2 Viento Normal en Diagonal con deflexión de la línea 0°, con carga vertical máxima y mínima en 2A y 2C respectivamente.

Loading : 3
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -1.00

Ass: 3A As Shown



Loading : 3
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -1.00

Ass: 3C As Shown

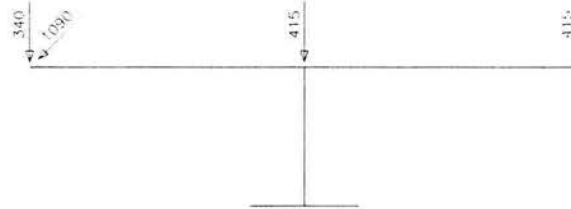
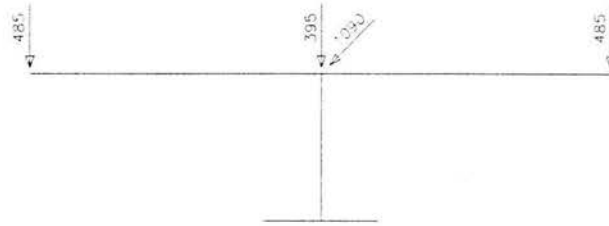


Fig. 4-7 Condición 3 Ruptura de Conductor de la fase izquierda, sin viento con deflexión de la línea 0°, con carga vertical máxima y mínima en 3A y 3C respectivamente.

Loading : 4
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00

Ass: 4 As Shown



Loading : 4
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00

Ass: 4C As Shown

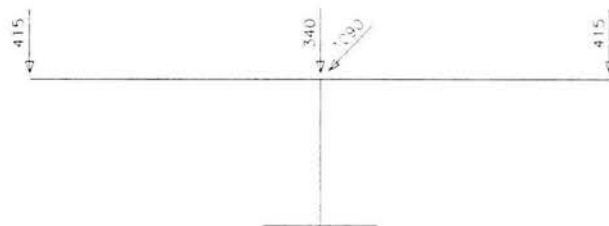
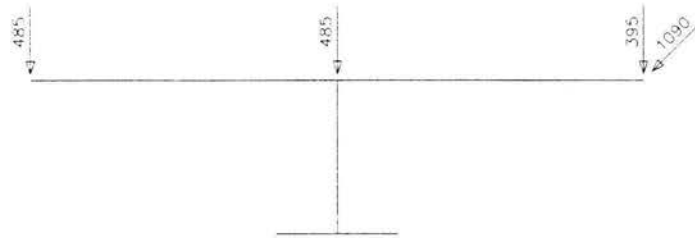


Fig. 4-8 Condición 4 Ruptura de Conductor de la fase central, sin viento con deflexión de la línea 0°, con carga vertical máxima y mínima en 4A y 4C respectivamente.

Loading : 5
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower =

Ass: 5 As Shown



Loading : 5
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00

Ass: 5C As Shown

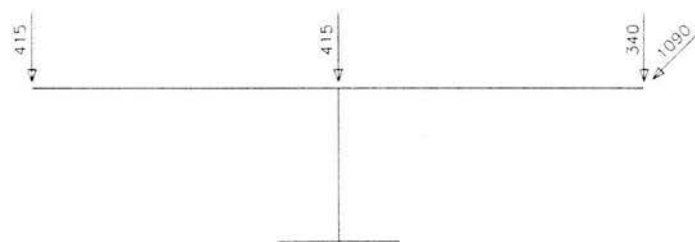
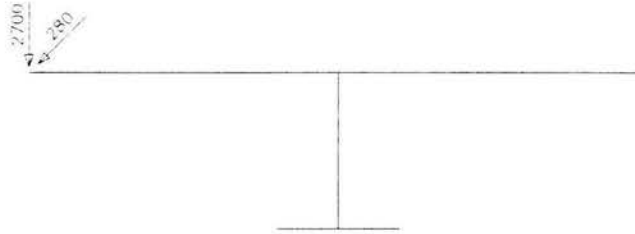


Fig. 4-9 Condición 3 Ruptura de Conductor de la fase derecha, sin viento con deflexión de la línea 0°, con carga vertical máxima y mínima 5A y 5C respectivamente.

Loading : 6
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -2.00

Ass: 6 As Shown



Loading : 6
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -1.00

Ass: As Shown

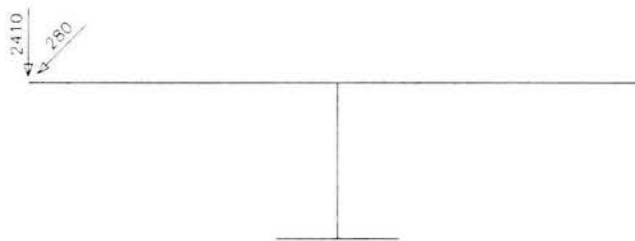
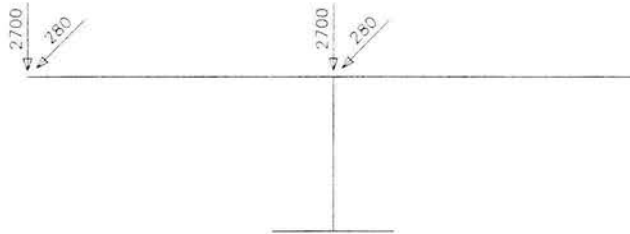


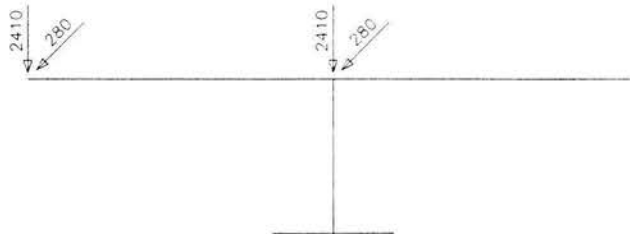
Fig. 4-10 Condición 4 Cosntrucción y Mantenimiento, fase izquierda, con carga vertical máxima y mínima 7A y 7C respectivamente.

Loading : 7
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -2.00



Ass: 7 As Shown

Loading : 7
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00

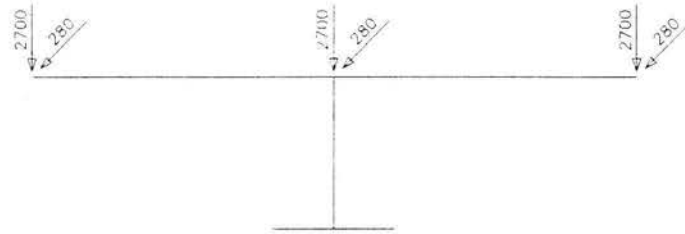


Ass: 7C As Shown

Fig. 4-11 Condición 4 Construcción y Mantenimiento, dos fases izquierda y central, con carga vertical máxima y mínima 7A y 7C respectivamente.

Loading : 8
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -2.00

Ass: 8 As Shown



Loading : 8
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -1.00

Ass: 8C As Shown

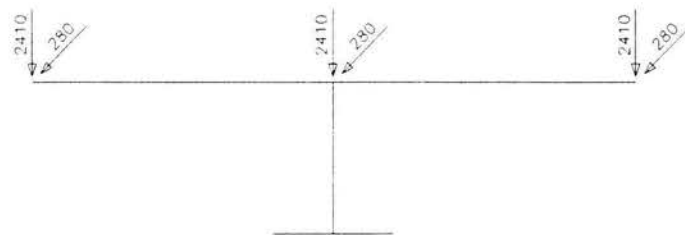
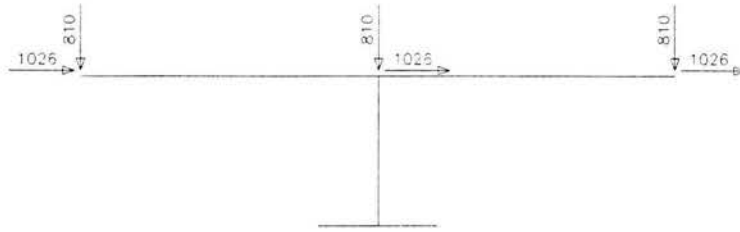


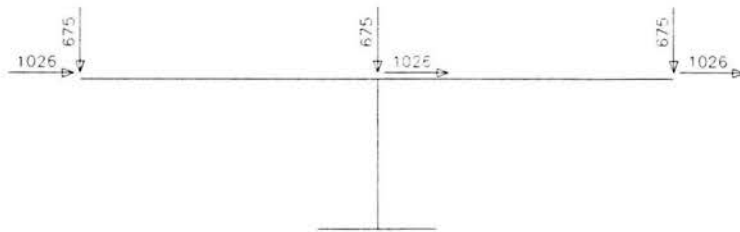
Fig. 4-12 Condición 4 Construcción y Mantenimiento, tres fases, con carga vertical máxima y mínima 8A y 8C respectivamente.

Loading : 9
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 78.1 x 1.8 x C
 Mult. of dead weight of tower = -1.80



Ass: 9 As Shown
 C = Drag Factor

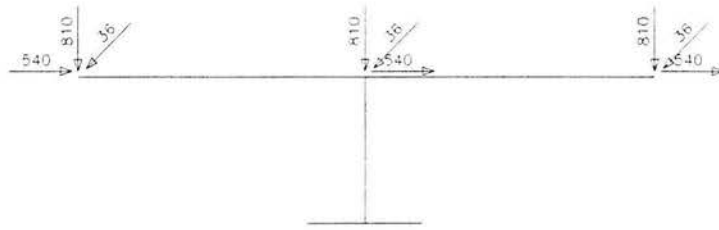
Loading : 9
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 78.1 x 1.8 x C
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 9C As Shown
 C = Drag Factor

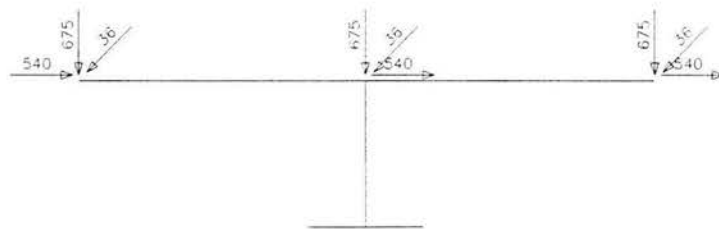
Fig. 4-13 Condición 1 Viento Normal con deflexión de la línea 1°, con carga vertical máxima y mínima en 9A y 9C respectivamente.

Loading : 10
 Long. wind pressure (kg/m²) = $78.1 \times 0.707 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Trans. " " = $78.1 \times 0.707 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Mult. of dead weight of tower = -1.80



Ass: 10 As Shown
 C = Drag Factor

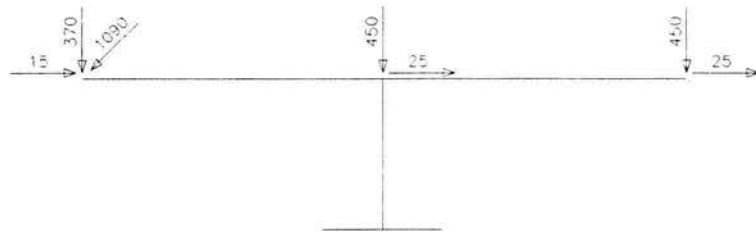
Loading : 10
 Long. wind pressure (kg/m²) = $78.1 \times 0.707 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Trans. " " = $78.1 \times 0.707 \times 1.2 \times 1.8 \times C$
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 10C As Shown
 C = Drag Factor

Fig. 4-14 Condición 6 Viento Diagonal Normal con deflexión de la línea 1°, con carga vertical máxima y mínima en 10A y 10C respectivamente.

Loading : 11
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -1.00



Ass: 11 As Shown

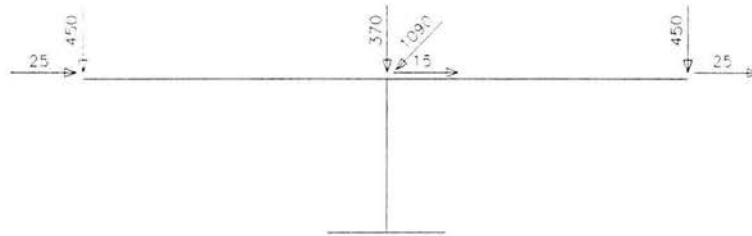
Loading : 11C
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult.of dead weight of tower = -1.00



Ass: 11C As Shown

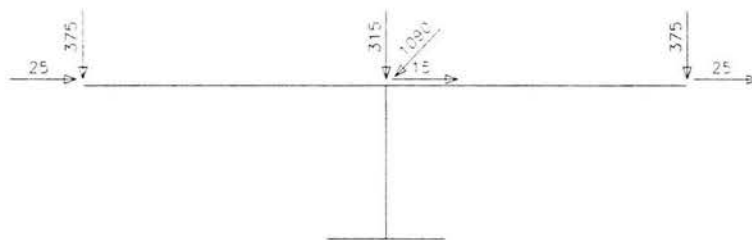
Fig. 4-15 Condición 7 Ruptura de Conductor de la fase izquierda, sin viento con deflexión de la línea 1°, con carga vertical máxima y mínima 11A y 11C respectivamente.

Loading : 12
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower =



Ass: 12 As Shown

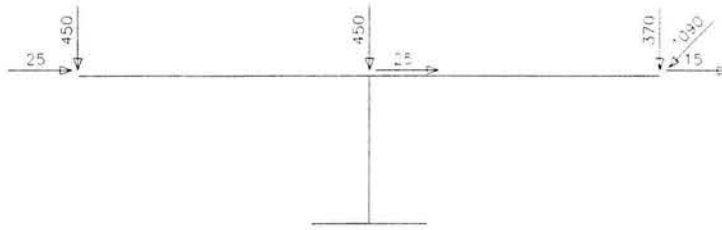
Loading : 12
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 12C As Shown

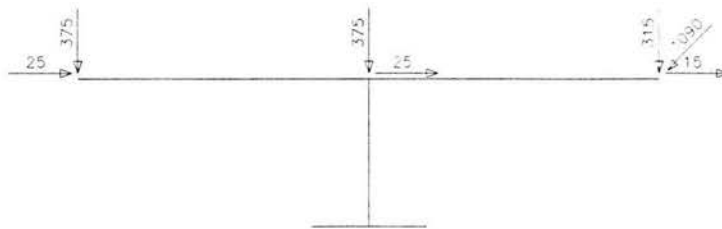
Fig. 4-16 Condición 7 Ruptura de Conductor de la fase central, sin viento con deflexión de la línea 1º, con carga vertical máxima y mínima 12A y 12C respectivamente.

Loading : 13
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 13 As Shown

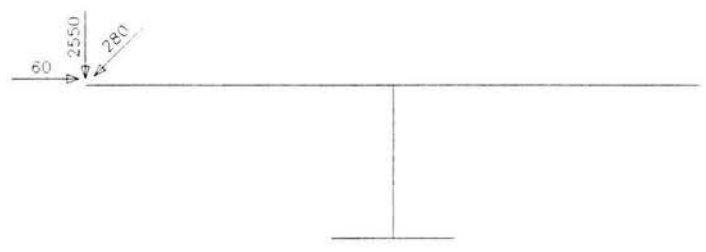
Loading : 13C
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 13C As Shown

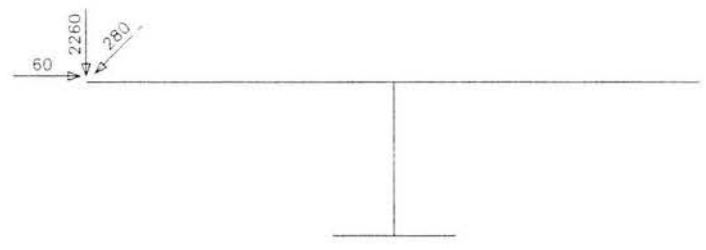
Fig. 4-17 Condición 7 Ruptura de Conductor de la fase derecha, sin viento con deflexión de la línea 1°, con carga vertical máxima y mínima 13A y 13C respectivamente.

Loading : 14
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -2.00



Ass: 14 As Shown

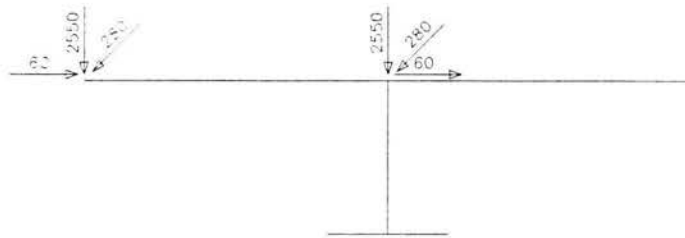
Loading : 14
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 14C As Shown

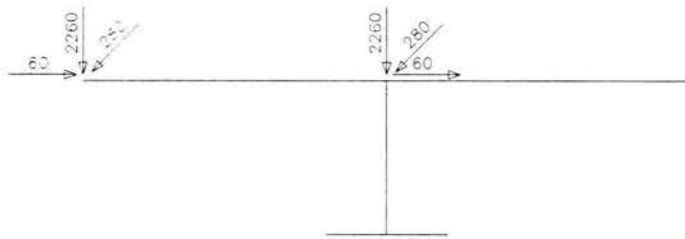
Fig. 4-18 Condición 4 Construcción y Mantenimiento, fase izquierda, con carga vertical máxima y mínima 14A y 14C respectivamente.

Loading : 15
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -2.00



Ass: 15 As Shown

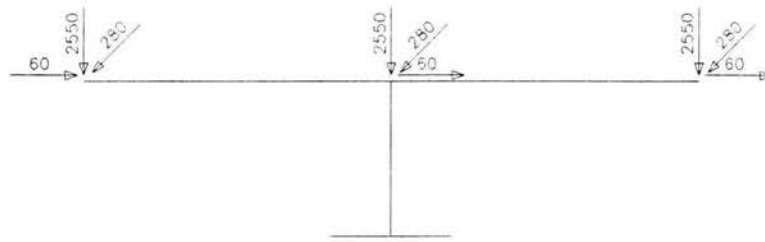
Loading : 15
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 15C As Shown

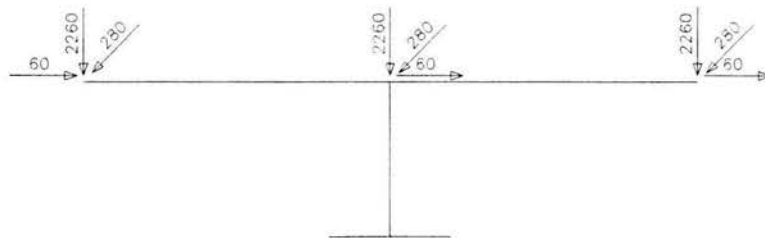
Fig. 4-19 Condición 7 Construcción y Mantenimiento, dos fases izquierda y central, con carga vertical máxima y mínima 15A y 15C respectivamente.

Loading : 16
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -2.00



Ass: 16 As Shown

Loading : 16
 Long. wind pressure (kg/m²) = 0
 Trans. " " = 0
 Mult. of dead weight of tower = -1.00



Ass: 16C As Shown

Fig. 4-20 Condición 8 Construcción y Mantenimiento, tres fases izquierda, central y derecha, con carga vertical máxima y mínima 16A y 16C respectivamente.

ESTA TESIS NO SALE
 DE LA BIBLIOTECA

4.5 Desplazamientos.

(en puntos de aplicación de cargas)

ABB SAE S.p.A. TOSCA - rel 2.02
 S1.S602

Sheet N. 23

*** NODE DISPLACEMENTS ***

JOINT Id	ASS Id	-X- cm	-Y- cm	-Z- cm	JOINT Id	ASS Id	-X- cm	-Y- cm	-Z- cm	JOINT Id	ASS Id	-X- cm	-Y- cm	-Z- cm
69	1	0.00	12.81	5.51	37	1	0.00	12.83	-0.32	68	1	0.00	12.78	-6.45
	1C	0.00	12.81	5.61		1C	0.00	12.83	-0.21		1C	0.00	12.78	-6.35
	2	4.76	7.89	3.07		2	4.79	7.89	-0.32		2	4.76	7.85	-4.01
	2C	4.76	7.89	3.17		2C	4.79	7.89	-0.21		2C	4.76	7.85	-3.91
	3	6.21	0.14	-0.14		3	2.69	0.13	-0.18		3	-0.11	0.12	-0.35
	3C	6.21	0.11	-0.13		3C	2.69	0.10	-0.17		3C	-0.11	0.09	-0.30
	4	2.69	0.01	-0.27		4	3.13	0.00	-0.16		4	2.69	-0.01	-0.27
	4C	2.69	0.01	-0.23		4C	3.13	0.00	-0.15		4C	2.69	-0.01	-0.23
	5	-0.11	-0.12	-0.35		5	2.69	-0.13	-0.18		5	6.21	-0.14	-0.14
	5C	-0.11	-0.09	-0.30		5C	2.69	-0.10	-0.17		5C	6.21	-0.11	-0.13
	6	1.84	-3.79	-3.88		6	0.80	-3.90	-0.14		6	-0.03	-3.88	2.43
	6C	1.84	-3.38	-3.42		6C	0.80	-3.48	-0.04		6C	-0.03	-3.46	2.21
	7	2.64	-3.82	-3.80		7	1.72	-3.90	-0.67		7	0.76	-3.84	2.51
	7C	2.64	-3.41	-3.35		7C	1.72	-3.48	-0.52		7C	0.76	-3.43	2.28
	8	2.60	0.07	-1.25		8	2.52	0.00	-0.60		8	2.60	-0.07	-1.25
	8C	2.60	0.06	-1.07		8C	2.52	0.00	-0.45		8C	2.60	-0.06	-1.07
	9	0.00	12.43	5.34		9	0.00	12.46	-0.31		9	0.00	12.40	-6.23
	9C	0.00	12.43	5.44		9C	0.00	12.46	-0.20		9C	0.00	12.40	-6.13
	10	4.76	7.88	3.09		10	4.79	7.89	-0.31		10	4.76	7.85	-3.99
	10C	4.76	7.88	3.20		10C	4.79	7.89	-0.20		10C	4.76	7.85	-3.88
	11	6.21	0.31	-0.04		11	2.69	0.30	-0.18		11	-0.11	0.30	-0.42
	11C	6.21	0.27	-0.04		11C	2.69	0.27	-0.16		11C	-0.11	0.26	-0.37
	12	2.69	0.19	-0.16		12	3.13	0.18	-0.16		12	2.69	0.17	-0.34
	12C	2.69	0.19	-0.13		12C	3.13	0.18	-0.15		12C	2.69	0.17	-0.31
	13	-0.11	0.07	-0.24		13	2.69	0.06	-0.18		13	6.21	0.05	-0.22
	13C	-0.11	0.10	-0.18		13C	2.69	0.10	-0.16		13C	6.21	0.09	-0.23
	14	1.84	-3.41	-3.58		14	0.80	-3.52	-0.15		14	-0.03	-3.50	2.20
	14C	1.84	-3.00	-3.12		14C	0.80	-3.10	-0.04		14C	-0.03	-3.08	1.99
	15	2.64	-3.27	-3.42		15	1.72	-3.35	-0.65		15	0.76	-3.30	2.19
	15C	2.64	-2.86	-2.97		15C	1.72	-2.93	-0.49		15C	0.76	-2.89	1.96
	16	2.60	0.56	-0.93		16	2.52	0.50	-0.58		16	2.60	0.44	-1.45
	16C	2.60	0.56	-0.75		16C	2.52	0.50	-0.43		16C	2.60	0.44	-1.27

5 RESULTADOS DEL DISEÑO

5.1 Resumen general de las fuerzas máximas en los miembros.

.. ABB SAE S.p.A. TOSCA - rel 2.02 Sheet N. 1
S1. TOWER TYPE "S1" SUSPENSION TOWER 0°-1° TANGENT
*** MAX MEMBERS ACTIONS BETWEEN DIFFERENT CONFIGURATIONS ***

UNIF. N	COMPRESSION				TENSION			
	MEMB. N	LOAD ASS.	CNF	FORCE	MEMB. N	LOAD ASS.	CNF	FORCE
B101	232	2	S0Z1	12230	230	10C	S0Z3	9700
B111	239	3	S6Z4	3016	237	13C	S6Z1	2443
B112	242	13	S0Z4	1510	243	13	S0Z4	1493
B113	246	13	S0Z4	1278	244	13	S0Z4	1285
B114	250	13	S0Z4	1018	249	13	S0Z4	1005
B115	254	1	S0Z2	4				0
B116	258	13	S0Z4	1293	259	13	S0Z4	1259
B117	262	13	S0Z4	895	261	13	S0Z4	906
B118	267	7	S0Z4	7				0
B119	270	5	S0Z4	952	270	3	S0Z1	911
B151	273	2	S0Z3	403	275	10C	S0Z1	373
B152	276	13	S0Z1	1333	277	13	S0Z1	1316
B153	282	13	S0Z1	1127	280	13	S0Z1	1135
B154	285	13	S0Z1	899	284	13	S0Z1	885
B155	290	1	S0Z2	4				0
B156	292	13	S0Z1	1168	293	13	S0Z1	1133
B157	297	13	S0Z1	806	296	13	S0Z1	818
B158	303	7	S0Z4	7				0
B159	304	13	S6Z1	868	305	13	S6Z1	839
B1H3	309	13	S0Z1	1259	308	13	S0Z1	1257
B1I1	312	1C	S0Z4	692	314	1C	S0Z3	685
B1I2	318	10C	S0Z3	564	319	10C	S0Z3	569
B201	344	2	S3Z1	14642	346	10C	S3Z3	11559
B211	350	1	S3Z2	830	348	1C	S3Z1	772
B212	352	16	S3Z3	9				0
B213	356	1	S302	1737	357	1C	S302	1709
B214	363	1C	S3Z4	862	360	1	S3Z1	899
B215	366	1	S3Z2	680	367	1C	S3Z3	670
B251	368	2	S3Z1	697	370	10C	S3Z3	628
B252	372	16	S3Z3	9				0
B253	376	10	S3Z4	1415	377	10C	S3Z4	1392
B254	382	10C	S3Z3	722	380	2	S3Z1	764
B255	385	2	S3Z1	565	387	10C	S3Z3	551
B301	409	2	S6Z1	15674	411	10C	S6Z3	12436
B311	415	1	S6Z2	1530	413	1C	S6Z1	1463
B312	417	16	S6Z3	9				0
B313	421	1	S602	1966	422	1C	S602	1928
B314	428	1C	S6Z4	647	425	1	S6Z1	697
B315	430	1	S602	1129	429	1C	S602	1079
B351	433	2	S6Z1	1288	435	10C	S6Z3	1200
B352	437	16	S6Z3	9				0
B353	441	10	S6Z4	1619	442	10C	S6Z4	1586
B354	447	10C	S6Z3	544	445	2	S6Z1	597
B355	451	10	S602	937	449	10C	S6Z4	891
DD01	8	7	S0Z1	7337	7	1C	S0Z1	3900
DD02	24	1C	S0Z2	4814	22	1	S0Z1	4621
DD03	25	1C	S0Z2	4611	27	1	S0Z1	4389
DD04	36	8	S0Z4	4187	34	13C	S0Z1	2464
DD05	37	1C	S0Z2	2376	39	1	S0Z1	2599
DD10	41	13C	S6Z1	508	43	6	S6Z4	4660
DD11	48	1	S0Z2	2939	46	1C	S0Z1	1824
DD12	51	6	S6Z4	1437	50	7C	S6Z4	33
DD13	53	1C	S0Z2	1693	55	1	S0Z1	2697
DD14	60	6	S0Z3	3444	59	11C	S0Z1	1545
DD15	64	6	S0M2	3340	69	7	S0Z3	3101

UNIF. N	COMPRESSION				TENSION			
	MEMB.	LOAD	CNF	FORCE	MEMB.	LOAD	CNF	FORCE
	N	ASS.			N	ASS.		
DD16	74	7	S0Z4	2167	75	6	S0Z4	4907
DD19	86	6	S602	2	85	7	S0M1	1
DD20	90	8	S6Z4	309	89	13C	S6Z1	212
DD21	92	7	S6Z4	530	91	6	S0M2	23
DD31	96	7	S602	1094	95	7	S0Z3	561
DD32	97	7	S6Z4	188	98	6	S0M2	430
DD33	99	12	S602	487	100	12C	S0Z1	496
DD34	106	12C	S0Z1	496	105	12	S0M2	487
DD35	107	12	S602	525	109	12C	S0Z1	535
DD36	111	10	S6Z4	0	111	10C	S3Z2	0
DD37	115	7	S0Z4	2068	114	6	S602	976
DD38	118	6	S602	993	119	7	S0Z4	2051
DD39	123	7	S0Z4	2018	122	6	S602	1025
DD40	126	6	S602	1043	127	7	S0Z4	2001
DD41	132	7	S0Z4	2055	131	6	S602	1114
DD42	133		S602	0	133	6	S0M1	12
DD43	135	8	S6Z4	682				0
DD44	136		S602	0	136	7	S0M1	1523
DD60	138	6	S602	270	139	7	S0M1	1163
DD61	141	11	S0Z1	1185	140	13C	S0M2	1105
DD62	144	13C	S0M2	808	145	11	S0Z1	863
DD63	150	2	S0Z3	682	151	10C	S0Z1	607
DD64	153	10C	S0Z1	473	152	2	S0Z3	526
DD65	156	2	S0Z3	430	157	10C	S0Z1	382
DD81	161	1	S0Z2	530	160	1	S0Z1	525
DD82	164	1	S0Z2	424	165	1	S0Z1	424
DD83	171	1	S0Z2	327	170	1	S0Z1	324
M101	M101	2	S6M1	13267	M107	10C	S3M1	10334
M111	M102	1	S6M1	968	M108	1C	S3M1	891
M151	M112	2	S6M1	790	M106	2C	S3M1	712
M201	M201	2	S6Z1	15708	M207	10C	S6Z3	12417
M211	M205	1	S6Z2	1370	M208	1C	S6Z3	1355
M251	M203	2	S6Z1	1167	M209	10C	S6Z3	1143
MA01	204	8	S6Z4	4570	205	13C	S3Z4	1960
MA02	208	13C	S6Z1	469	210	6	S6Z4	4245
P101	P101	2	S600	13145	P107	10C	S300	10206
P111	P102	1	S600	1206	P108	1C	S300	1128
P151	P112	2	S600	983	P106	2C	S300	905
P201	P201	2	S601	13947	P207	10C	S601	10860
P211	P202	1	S601	1727	P208	1C	S601	1634
P251	P203	2	S601	1428	P206	2C	S601	1335
P301	P301	2	S6Z4	13857	P307	10C	S6Z2	11014
P311	P302	1	S602	1999	P308	1C	S602	1902
P351	P303	10	S6Z4	1654	P306	10C	S6Z4	1561

5.2 Esfuerzos admisibles en los miembros de la torre.

Sheet N. 4

.. ABB SAE S.p.A. TOSCA - rel 2.02
 SI. TOWER TYPE "SI" SUSPENSION TOWER 0°-1° TANGENT

MEMBERS	ASS. & CRITICAL LOADS		SECTION	DIM. VALUES		STRESSES		FOLTS				
	Compress. kg	Tension kg		Gros cm2	Net Lme cm	Rgr Kl/r cm	ALM. |ACT. |ACT.	COMPR. | TN.	No & Type	ASS. & CR. Load		
ID.Type	Angle SIZE											
B101 LEG	2	12230 10C	9700 L	60	6.0	6.91	5.29 101 101	1.17	86 2082 1770 1834	4#12.0	2	12230 2703 4246
B111 WEB	3	3016 13C	2443 L	50	50	4.0	3.02 70	0.98	96 1904 773 808	2#12.0	5	3016 1333 3142
B112 WEB	13	1510 13	1433 L	40	40	4.0	3.08	2.29 105 105	0.77 136 1087 490 653	1#12.0	13	1510 1335 3146
B113 WEB	13	1278 13	1285 L	40	40	4.0	3.08	2.29 141 141	0.77 183 600 415 562	1#12.0	13	1285 1137 2678
B114 WEB	13	1018 13	1005 L	40	40	4.0	3.08	2.29 141 141	0.77 183 600 330 440	1#12.0	13	1018 900 2120
B115 HORZ	1	4	0 L	45	45	4.0	3.49	2.65 110 220	1.36 162 766	1	0	1#12.0 1 4 4 9
B116 WEB	13	1293 13	1259 L	40	40	4.0	3.08	2.29 121 241	1.21 199 508 420 551	1#12.0	13	1293 1143 2693
B117 WEB	13	895 13	906 L	40	40	4.0	3.08	2.29 121 241	1.21 199 508 291 396	1#12.0	13	906 801 1888
B118 HORZ	7	7	0 L	60	60	4.0	4.72	3.76 156 312	1.84 170 696	1	0	1#12.0 7 7 6 15
B119 WEB	5	952 3	911 L	60	60	4.0	4.72	3.76 119 357	1.84 194 534 202 242	1#12.0	3	952 841 1983
B151 WEB	2	403 10C	373 L	50	50	4.0	3.90	3.02 70	0.98 96 1904 103 123	2#12.0	2	403 178 420
B152 WEB	13	1333 13	1316 L	40	40	4.0	3.08	2.29 105 105	0.77 136 1087 433 576	1#12.0	13	1333 1179 2777
B153 WEB	13	1127 13	1135 L	40	40	4.0	3.08	2.29 141 141	0.77 183 600 366 496	1#12.0	13	1135 1003 2364
B154 WEB	13	899 13	885 L	40	40	4.0	3.08	2.29 141 141	0.77 183 600 292 387	1#12.0	13	899 795 1873
B155 HORZ	1	4	0 L	45	45	4.0	3.49	2.65 110 110	0.87 126 1267	1	0	1#12.0 1 4 4 9
B156 WEB	13	1168 13	1133 L	40	40	4.0	3.08	2.29 121 241	1.21 199 508 379 496	1#12.0	13	1168 1032 2433
B157 WEB	13	806 13	818 L	40	40	4.0	3.08	2.29 121 241	1.21 199 508 262 358	1#12.0	13	818 723 1704

MEMBERS	ASS. & CRITICAL LOADS		SECTION	DIM. VALUES		STRESSES		BOLTS											
	Compress. kg	Tension kg		Gros Net cm ²	Lme cm	Rgr KL/r cm	ALW. ACT. ALM. ACT. COMP. TN.	No. Type	ASS. & CR. Load	TAU BEAR									
ID.Type	Angle	SIZE																	
B158 HORZ	7	0	L	60	4.0	4.72	3.76	156	312	1.84	170	696	1	0	1#12.0	7	7	6	15
B159 WEB	13	868	L	60	4.0	4.72	3.76	119	357	1.84	194	534	184	223	1#12.0	13	868	767	1408
B1H3 BRC	13	1259	L	45	4.0	3.49	2.65	49	99	1.36	97	1885	361	473	1#12.0	13	1259	1113	2623
B1I1 WEB	1C	692	L	60	4.0	4.72	3.76	95	191	1.84	112	1579	147	182	2#12.0	1C	692	306	721
B1I2 WEB	10C	564	L	60	4.0	4.72	3.76	95	191	1.84	112	1579	119	151	2#12.0	10C	569	251	592
B201 LEG	2	14642	L	70	6.0	8.10	6.48	101	101	1.37	74	2270	1808	1784	12#12.0	2	14642	1079	1695
B211 WEB	1	830	L	50	4.0	3.90	3.02	147	293	1.52	193	540	213	255	1#12.0	1	830	734	1730
B212 HORZ	16	9	L	50	4.0	3.90	3.02	191	191	0.98	195	529	2	0	1#12.0	16	9	8	18
B213 WEB	1	1737	D	40	4.0	6.16	4.57	106	106	1.21	88	2048	282	374	2#12.0	1	1737	768	1809
B214 WEB	1C	862	L	60	4.0	4.72	3.76	205	205	1.19	172	680	183	239	1#12.0	1	899	795	1873
B215 WEB	1	680	L	60	4.0	4.72	3.76	124	214	1.84	118	1444	144	178	2#12.0	1	680	300	708
B251 WEB	2	697	L	50	4.0	3.90	3.02	147	293	1.52	193	540	179	208	1#12.0	2	697	616	1452
B252 HORZ	16	9	L	50	4.0	3.90	3.02	191	191	0.98	195	529	2	0	1#12.0	16	9	8	18
B253 WEB	10	1415	D	40	4.0	6.16	4.57	106	106	1.21	88	2048	230	304	2#12.0	10	1415	626	1474
B254 WEB	10C	722	L	60	4.0	4.72	3.76	205	205	1.19	172	680	153	203	1#12.0	2	764	675	1592
B255 WEB	2	565	L	60	4.0	4.72	3.76	124	214	1.84	118	1444	120	146	2#12.0	2	565	250	589
B301 LEG	2	15674	L	70	6.0	8.10	6.48	101	101	1.37	74	2270	1935	1919	12#12.0	2	15674	1155	1814
B311 WEB	1	1530	L	45	4.0	3.49	2.65	112	112	0.87	129	1208	438	551	1#12.0	1	1530	1353	3187
B312 HORZ	16	9	L	50	4.0	3.90	3.02	191	191	0.98	195	529	2	0	1#12.0	16	9	8	18

MEMBERS	ASS. & CRITICAL LOADS		SECTION	DIM. VALUES			STRESSES			BOLTS											
	Compress. | kg	Tension | kg		Net | cm ²	Lme | cm	Rgr | cm	KL/F | cm	COMPR. | TN.	ALW. | ACT.	ACT.	No | Type	ASS. & CR. Load	TAU BEAR								
B313 WEB	1	1966	1C	1928	D	40	4.0	6.16	4.57	122	122	1.21	101	1808	319	422	2#12.0	1	1966	869	2048
B314 WEB	1C	647	1	697	L	60	4.0	4.72	3.76	205	205	1.19	172	680	137	185	1#12.0	1	697	616	1452
B315 WEB	1	1129	1C	1079	L	60	4.0	4.72	3.76	148	248	1.84	135	1103	239	287	2#12.0	1	1129	499	1176
B351 WEB	2	1288	10C	1200	L	45	4.0	3.49	2.65	112	112	0.87	129	1208	369	452	1#12.0	2	1288	1139	2683
B352 HORZ	16	9		0	L	50	4.0	3.90	3.02	191	191	0.98	195	529	2	0	1#12.0	16	9	8	18
B353 WEB	10	1619	10C	1586	D	40	4.0	6.16	4.57	122	122	1.21	101	1808	263	347	2#12.0	10	1619	716	1687
B354 WEB	10C	544	2	597	L	60	4.0	4.72	3.76	205	205	1.19	172	680	115	159	1#12.0	2	597	528	1244
B355 WEB	10	937	10C	891	L	60	4.0	4.72	3.76	148	248	1.84	135	1103	199	237	2#12.0	10	937	414	976
DD01 LEG	7	7337	1C	3900	L	60	6.0	6.91	5.29	119	120	1.17	102	1788	1062	737	4#12.0	7	7337	1622	2547
DD02 WEB	1C	4814	1	4621	L	50	4.0	3.90	3.02	113	113	0.98	118	1444	1234	1528	3#12.0	1C	4814	1419	3343
DD03 WEB	1C	4611	1	4389	D	40	4.0	6.16	4.57	103	103	1.21	85	2099	749	960	4#12.0	1C	4611	1019	2402
DD04 LEG	8	4187	13C	2464	L	60	6.0	6.91	5.29	101	101	1.17	86	2082	606	466	4#12.0	8	4187	926	1454
DD05 WEB	1C	2376	1	2599	L	50	4.0	3.90	3.02	91	181	1.52	120	1396	609	860	2#12.0	1	2599	1149	2708
DD10 WEB	13C	508	6	4660	L	50	4.0	3.90	3.02	80	80	0.98	92	1978	130	1541	3#12.0	6	4660	1374	3236
DD11 WEB	1	2939	1C	1824	L	40	4.0	3.08	2.29	78	78	0.77	101	1808	954	798	2#12.0	1	2939	1299	3062
DD12 LEG	6	1437	7C	33	L	60	6.0	6.91	5.29	67	67	1.17	57	2487	208	6	4#12.0	6	1437	318	499
DD13 WEB	1C	1693	1	2697	L	40	4.0	3.08	2.29	72	72	0.77	107	1686	550	1180	2#12.0	1	2697	1192	2809
DD14 CHR.D	6	3444	11C	1545	L	50	6.0	5.69	4.39	90	90	0.97	100	1828	605	352	2#12.0	6	3444	1523	2392
DD15 CHR.D	6	3340	7	3101	L	50	6.0	5.69	4.39	90	90	0.97	100	1828	587	706	2#12.0	6	3340	1476	2319

MEMBERS ID.Type	ASS. & CRITICAL LOADS		SECTION	DIM. VALUES		STRESSES		BOLTS													
	Compress. kg	Tension kg		Gros cm ²	Net cm	Limi cm	Lme cm	Rgr cm	KL/r	COMPR. ALM. | ACT. | TN.	No & Type	ASS. & CK. Load	TAU BEAR								
DD16 WEB	7	2167	6	4907	L	50	4.0	3.90	3.02	85	270	1.52	178	635	556	1623	3#12.0	6	4907	1446	3408
DD19 WEB	6	2	7	1	L	40	4.0	3.08	2.29	60	60	0.77	99	1847	1	1	1#12.0	6	2	2	4
DD20 WEB	8	309	13C	212	L	40	4.0	3.08	2.29	45	45	0.77	89	2031	100	93	1#12.0	8	309	273	643
DD21 WEB	7	530	6	23	L	40	4.0	3.08	2.29	60	60	0.77	99	1847	172	10	1#12.0	7	530	469	1105
DD31 WEB	7	1094	7	561	L	40	4.0	3.08	2.29	54	54	0.77	95	1923	355	245	1#12.0	7	1094	968	2280
DD32 HORZ	7	188	6	430	L	45	4.0	3.49	2.65	60	60	0.87	95	1923	54	162	1#12.0	6	430	380	896
DD33 WEB	12	487	12C	496	L	40	4.0	3.08	2.29	54	54	0.77	95	1923	158	217	1#12.0	12C	496	439	1034
DD34 WEB	12C	496	12	487	L	40	4.0	3.08	2.29	54	54	0.77	95	1923	161	213	1#12.0	12C	496	439	1034
DD35 WEB	12	525	12C	535	L	40	4.0	3.08	2.29	58	58	0.77	98	1866	170	234	1#12.0	12C	535	473	1114
DD36 WEB	10	0	10C	0	D	45	4.0	6.98	5.31	30	30	1.36	71	2284	0	0	2#12.0	10	0	0	0
DD37 WEB	7	2068	6	976	L	40	4.0	3.08	2.29	75	75	0.77	109	1644	671	427	1#12.0	7	2068	1828	4308
DD38 WEB	6	993	7	2051	L	40	4.0	3.08	2.29	75	75	0.77	109	1644	322	897	1#12.0	7	2051	1813	4272
DD39 WEB	7	2018	6	1025	L	40	4.0	3.08	2.29	75	75	0.77	109	1644	655	448	1#12.0	7	2018	1785	4205
DD40 WEB	6	1043	7	2001	L	40	4.0	3.08	2.29	75	75	0.77	109	1644	339	875	1#12.0	7	2001	1769	4168
DD41 WEB	7	2055	6	1114	L	40	4.0	3.08	2.29	78	78	0.77	111	1601	667	487	1#12.0	7	2055	1817	4282
DD42 WEB	0	6	6	12	L	45	4.0	3.49	2.65	60	60	0.87	95	1923	0	4	2#12.0	6	12	5	12
DD43 WEB	8	682	0	7	L	40	4.0	3.08	2.29	60	60	0.77	99	1847	222	0	1#12.0	8	682	603	1422
DD44 WEB	0	7	7	1523	D	45	4.0	6.98	5.31	67	67	1.36	49	2570	0	287	2#12.0	7	1523	673	1587
DD60 HORZ	6	270	7	1163	L	45	4.0	3.49	2.65	60	60	0.87	95	1923	77	438	1#12.0	7	1163	1029	2424

MEMBERS	ASS. & CRITICAL LOADS		ANGLE SIZE		SECTIONS		DIM. VALUES		STRESSES		BOLTS											
	Compress.	Tension			Gros	Net	Lami	Lame	Rgr	KL/r	COMPR.	TN.	No &	ASS.	&	TAU	BEAR					
ID.Type	kg	kg			cm ²	cm ²	cm	cm	cm	cm	ALM.	FACT.	FACT.	Type	CR.	Load						
DD61 WEB	11	1185	130	1105	L	40	40	4.0	3.08	2.29	67	67	0.77	104	1748	385	483	1#12.0	11	1185	1048	2468
DD62 WEB	13C	808	11	863	L	40	40	4.0	3.08	2.29	71	71	0.77	106	1707	262	377	1#12.0	11	863	763	1798
DD63 WEB	2	682	10C	607	L	40	40	4.0	3.08	2.29	84	84	0.77	115	1512	221	266	1#12.0	2	682	603	1421
DD64 WEB	10C	473	2	526	L	40	40	4.0	3.08	2.29	89	89	0.77	118	1444	153	230	1#12.0	2	526	465	1096
DD65 WEB	2	430	10C	382	L	40	40	4.0	3.08	2.29	94	94	0.77	122	1351	140	167	1#12.0	2	430	381	897
DD81 WEB	1	530	1	525	L	40	40	4.0	3.08	2.29	82	82	0.77	113	1557	172	230	1#12.0	1	530	469	1104
DD82 WEB	1	424	1	424	L	40	40	4.0	3.08	2.29	87	87	0.77	117	1467	138	185	1#12.0	1	424	375	884
DD83 WEB	1	327	1	324	L	40	40	4.0	3.08	2.29	81	81	0.77	113	1557	106	142	1#12.0	1	327	289	682
M101 LEG	2	13267	10C	10334	L	70	70	6.0	8.10	6.48	101	101	1.37	74	2270	1638	1595	12#12.0	2	13267	978	1536
M111 WEB	1	968	1C	891	L	50	50	4.0	3.90	3.02	147	293	1.52	193	540	248	295	2#12.0	1	968	428	1009
M151 WEB	2	790	2C	712	L	50	50	4.0	3.90	3.02	147	293	1.52	193	540	202	236	2#12.0	2	790	349	823
M201 LEG	2	15708	10C	12417	L	70	70	6.0	8.10	6.48	101	101	1.37	74	2270	1939	1916	12#12.0	2	15708	1157	1818
M211 WEB	1	1370	1C	1355	L	50	50	4.0	3.90	3.02	113	226	1.52	149	906	351	448	2#12.0	1	1370	606	1427
M251 WEB	2	1167	10C	1143	L	50	50	4.0	3.90	3.02	113	226	1.52	149	906	299	378	2#12.0	2	1167	516	1215
MA01 CHRDR	8	4570	13C	1960	L	50	50	6.0	5.69	4.39	96	192	1.50	128	1227	803	446	2#12.0	8	4570	2020	3173
MA02 HNGR	13C	469	6	4245	L	45	45	4.0	3.49	2.65	173	173	0.87	199	508	134	1599	2#12.0	6	4245	1877	4422
F101 LEG	2	13145	10C	10206	L	70	70	6.0	8.10	6.48	101	101	1.37	74	2270	1623	1575	12#12.0	2	13145	969	1521
F111 WEB	1	1206	1C	1128	L	50	50	4.0	3.90	3.02	126	252	1.52	166	730	309	373	2#12.0	1	1206	533	1257
F151 WEB	2	983	2C	905	L	50	50	4.0	3.90	3.02	126	252	1.52	166	730	292	299	2#12.0	2	983	435	1024

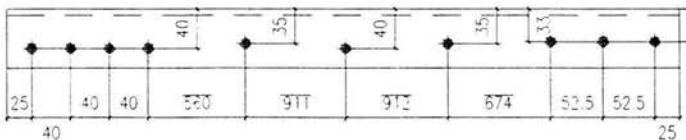
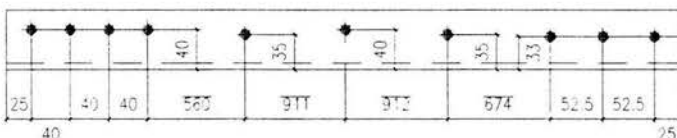
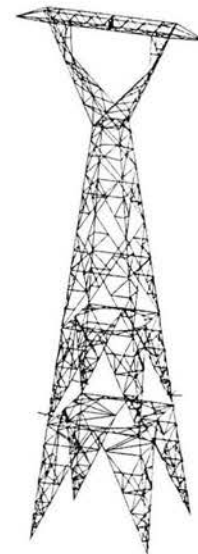
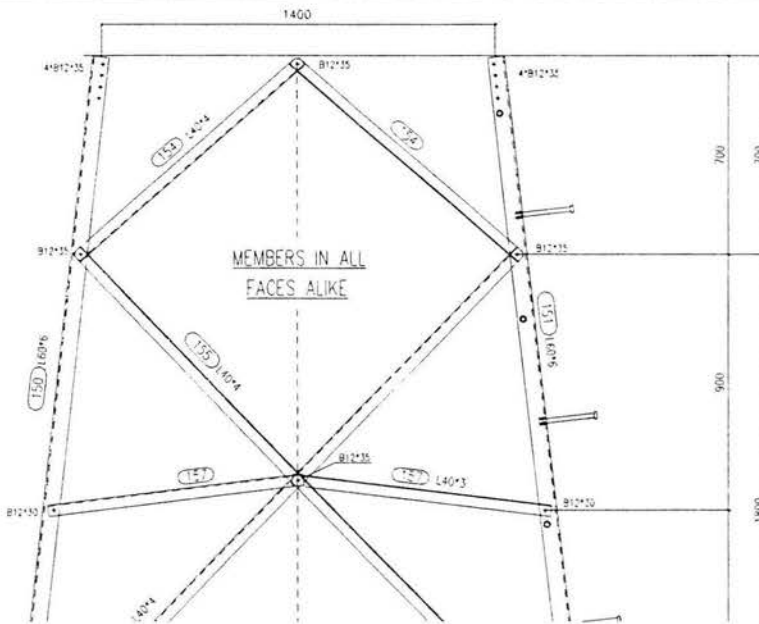
MEMBERS	ASS. & CRITICAL LOADS		SECTION	DIM. VALUES		STRESSES		BOLTS														
	Compress.	Tension		Gros	Net	KL/r	COMPR.	TN.	No. & Type	ASS. & CR. Load												
ID. Type	kg	kg	cm ²	Lmi	Lme	Rgr	ALW.	ACT.	ACT.													
				cm	cm	cm																
P201 LEG	2	13947	10C	10860	L	70	70	6.0	8.10	6.48	101	101	1.37	74	2270	1722	1676	12#12.0	2	13947	1028	1614
P211 WEB	1	1727	1C	1634	L	50	50	4.0	3.90	3.02	117	117	0.98	120	1396	443	540	2#12.0	1	1727	764	1799
P251 WEB	2	1428	2C	1335	L	50	50	4.0	3.90	3.02	117	117	0.98	120	1396	366	442	2#12.0	2	1428	631	1488
P301 LEG	2	13857	10C	11014	L	70	70	6.0	8.10	6.48	101	101	1.37	74	2270	1711	1700	12#12.0	2	13857	1021	1604
P311 WEB	1	1999	1C	1902	L	50	50	4.0	3.90	3.02	112	112	0.98	117	1467	513	629	2#12.0	1	1999	884	2083
P351 WEB	10	1654	10C	1561	L	50	50	4.0	3.90	3.02	112	112	0.98	117	1467	424	516	2#12.0	10	1654	731	1723

6 VERIFICACION MANUAL.

De acuerdo a la Normativa Americana ASCE 10-97 se verificaron los tres tipos de miembros que forman la torre:

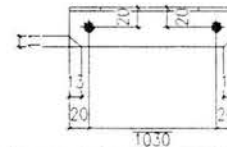
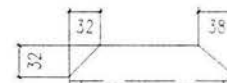
- Principal.
- Secundario.
- Redundante.

Material: S275 JR	$F_y=2805 \text{ kg/cm}^2$	$E=2.1E+06 \text{ kg/cm}^2$	Aplastamiento: $F_b=5040 \text{ kg/cm}^2$
Tornillos: $\varnothing=16\text{mm}$		Cortante: $F_v=3885 \text{ kg/cm}^2$	

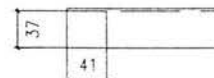
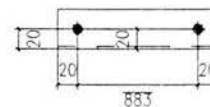


MARK	PROFILE	LENGTH	MATERIAL
150	L60*6	3332	S275JR

◆ $\varnothing 13.5$ HOLES FOR $\varnothing 12$ BOLTS



MARK	PROFILE	LENGTH	MATERIAL
154	L40*4	1070	S275JR



MARK	PROFILE	LENGTH	MATERIAL
157	L40*3	923	S275JR

I. Diseño de Miembro Principal (Leg):

Código		Cargas de diseño		Tipo de miembro
Modelo Analítico	Plano de Montaje	Compresión (kg)	Tensión (kg)	Principal (Leg)
B101	150	12300	9700	
Perfil				
Sección	Área Ag (cm ²)	Radio de giro (cm)	Long. de diseño (cm)	No. Tornillos
L 60x60x6	6.91	1.17 (eje menor)	101	4

- Compresión.

– Esfuerzo permisible:

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} = \pi \sqrt{\frac{2 \times 2.1E + 06.kg/cm^2}{2805.kg/cm^2}} = 122$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} = \frac{101}{1.17} = 86 < 120, \quad \text{Sí } \frac{KL}{r} \leq C_c \quad F_a = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{KL/r}{C_c} \right)^2 \right] F_y$$

$$F_a = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{86.32}{122} \right)^2 \right] 2805.kg/cm^2 = 2098.kg/cm^2$$

– Esfuerzo actuante:

$$f_a = \frac{C}{A_g} = \frac{12230}{6.91} = 1770.kg/cm^2$$

$$\eta = \frac{F_a}{f_a} = \frac{2098}{1770} = 1.19 > 1.0$$

- Tensión.

Esfuerzo permisible:

Para miembros con cargas concéntricas a tensión conectados en ambas alas del ángulo:

$$T_{adm} = F_y \times A_n,$$

$$\text{donde: } A_n = A_g - (\phi_{\text{tornillo}} + 1.5mm) t_{\text{espesor}} \times \text{No. tornillos} = 6.91 - (1.2 + .15) 0.6 \times 2 = 5.29cm^2$$

$$\therefore Ft = 2805kg/cm^2$$

Esfuerzo actuante:

$$f_t = \frac{T}{A_n} = \frac{9700.kg}{5.29cm^2} = 1834.kg/cm^2 < Ft = 2805kg/cm^2$$

$$\eta = \frac{F_t}{f_t} = \frac{2805}{1834} = 1.53 > 1.0$$

- Conexión.
- Cortante:

$$\#_{\text{tornillos}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_c \cdot x \cdot A_t} = \frac{12300.kg}{3885.kg/cm^2 \left(\frac{\pi(1.2cm)^2}{4} \right)} = 2.78 \approx 3 \text{ tornillos}$$

- Aplastamiento:

$$\#_{\text{tornillos}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_{apl}(\phi_t)(t_p)} = \frac{12300.kg}{5040.kg/cm^2(1.2cm)(0.6cm)} = 3.4 \approx 4 \text{ tonillos}$$

II. Diseño de Miembro Secundario (WEB):

Código		Esfuerzos de diseño		Tipo de miembro
Modelo Analítico	Plano de Montaje	Compresión (kg)	Tensión (kg)	Secundario (Web)
B112	154	1510	1493	
Perfil				
Sección	Área Ag (cm ²)	Radio de giro (cm)	Long. de diseño (cm)	No. Tornillos
L 40x40x4	3.08	0.77 (eje menor)	105	1

- Compresión.
- Esfuerzo permisible:

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} = \pi \sqrt{\frac{2 \times 2.1E + 06.kg/cm^2}{2805.kg/cm^2}} = 122$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} = \frac{105}{0.77} = 136 < 200, \quad \text{Sí } \frac{KL}{r} > C_c \quad Fa = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$Fa = \frac{\pi^2 (2100000kg/cm^2)}{136} = 1121.kg/cm^2$$

- Esfuerzo actuante:

$$fa = \frac{C}{Ag} = \frac{1510}{3.08} = 490.kg/cm^2$$

$$\eta = \frac{Fa}{fa} = \frac{1121}{490} = 2.29 > 1.0$$

- Tensión.

Esfuerzo permisible:

Para miembros conectados en una ala del ángulo será :

$$T_{adm} = Fy(0.90 \times An),$$

donde:

$$0.9 \times An = 0.90 [Ag - (\phi_{\text{tornillo}} + 1.5 \text{ mm}) t_{\text{espesor}} \times N_{\text{tornillos}}] = 0.90 [3.08 - (1.2 + 0.15) 0.4 \times 1] = 2.29 \text{ cm}^2$$

$$\therefore Ft = 2805 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo actuante:

$$ft = \frac{T}{An} = \frac{1493 \text{ kg}}{2.29 \text{ cm}^2} = 652 \text{ kg/cm}^2 < Ft = 2805 \text{ kg/cm}^2$$

$$\eta = \frac{Ft}{ft} = \frac{2805}{652} = 4.3 > 1.0$$

- Conexión.

– Cortante:

$$\#_{\text{tornillos}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_c \times A_t} = \frac{1510 \text{ kg}}{3885 \text{ kg/cm}^2 \left(\frac{\pi (1.2 \text{ cm})^2}{4} \right)} = 0.34 \approx 1 \text{ tornillos}$$

– Aplastamiento:

$$\#_{\text{tornillos}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_{apl}(\phi_t)(t_p)} = \frac{1510 \text{ kg}}{5040 \text{ kg/cm}^2 (1.2 \text{ cm})(0.4 \text{ cm})} = 0.62 \approx 1 \text{ tonillos}$$

III. Diseño de Miembro Redundante (RDNT):

Código		Esfuerzos de diseño		Tipo de miembro
Modelo Analítico	Plano de Montaje	Compresión (kg)	Tensión (kg)	Secundario (Web)
-	157	310*	310*	
*por especificación el 2.5% de la carga del esquinero B101= 12230 x 0.25= 308 ≈ 310 kg				
P e r f i l				
Sección	Área Ag (cm ²)	Radio de giro (cm)	Long. de diseño (cm)	No. Tornillos
L 40x40x3	2.59	0.69 (eje menor)	150	1

- Compresión.
- Esfuerzo permisible:

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} = \pi \sqrt{\frac{2 \times 2.1E + 06.kg/cm^2}{2805.kg/cm^2}} = 122$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{L}{r} = \frac{150}{0.69} = 217 < 250, \quad \text{Si } \frac{KL}{r} > C_c \quad F_a = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_a = \frac{\pi^2 (2100000kg/cm^2)}{136} = 1121.kg/cm^2$$

- Esfuerzo actuante:

$$f_a = \frac{C}{A_g} = \frac{310}{2.59} = 120.kg/cm^2 < F_a = 1121.kg/cm^2$$

$$\eta = \frac{F_a}{f_a} = \frac{1121}{120} = 9.34 > 1.0$$

- Tensión.
- Esfuerzo permisible:

Para miembros conectados en una ala del ángulo será :

$$T_{adm} = F_y(0.90 \times A_n),$$

donde:

$$0.9 \times A_n = 0.90 [A_g - (\phi_{\text{tornillo}} + 1.5mm)t_{\text{espesor}} \times N_{\text{tornillos}}] = 0.90 [2.59 - (1.2 + 0.15)0.3 \times 1] = 1.97cm^2$$

$$\therefore Ft = 2805kg/cm^2$$

Esfuerzo actuante:

$$f_t = \frac{T}{A_n} = \frac{310.kg}{1.97cm^2} = 157.kg/cm^2 < Ft = 2805kg/cm^2$$

$$\eta = \frac{Ft}{f_t} = \frac{2805}{157} = 18.0 > 1.0$$

- Conexión.

- Cortante:

$$\#_{\text{tornillos}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_c \times A_t} = \frac{310.kg}{3885.kg/cm^2 \left(\frac{\pi(1.2cm)^2}{4} \right)} = 0.10 \approx 1 \text{ tornillos}$$

- Aplastamiento:

$$\#_{\text{tornillos}} = \frac{Esf_{\text{máximo}}}{\sigma_{apl}(\phi_t)(t_p)} = \frac{310.kg}{5040.kg/cm^2 (1.2cm)(0.3cm)} = 0.2 \approx 1 \text{ tonillos}$$

7 ANCLAJE

7.1 Reacciones en los apoyos.

ABB SAE S.p.A.
S1.CSE4

TOSCA - rel 2.02

SELECTED BATTERED LOADS ON FOUNDATIONS

Loading assumpt.	Leg No.	C-compr U-uplift	Axial Force	Transv. shear	Longit. shear	Tower type
2	P3-1	C	16895	711	698	S602
2	M2-1	C	16795	1087	1065	S6Z1
1	M2-1	C	15052	1251	104	S6Z1
1	M2-1	C	14358	1134	110	S3Z1
10C	P3-3	U	13476	694	681	S602
10C	M2-3	U	13439	1136	1115	S6Z3
1C	M2-3	U	11608	1318	39	S6Z3
1C	M2-3	U	11067	1205	51	S3Z3
1C	M2-3	U	10404	1170	83	S0Z3

7.2 Diseño del anclaje – Stub.

Con las reacciones máximas obtenidas del análisis, se calculó el anclaje de la cimentación "Stub", el cuál es calculado de acuerdo al criterio especificado en el standard ASCE 10-97 (American Society of Civil Engineers)

TORRE TIPO S1

VERIFICACION DE ANCLAJE - ANSI/ASCE 10-97

CARGAS FACTORIZADAS EN CIMENTACION (CON FACTOR DE SEGURIDAD DE LA TORRE)

Compresión	C [kg]	16797	Cortante	
Tracción	U [kg]	13374	X	Y
Cortante (por compresión)	V [kg]	1613	1230	1043
Cortante (por tracción)	V [kg]	1695	1297	1092

MONTANTE DE ANCLAJE (STUB)

Angulo	L	70x70x6	A [cm ²]	Anet [cm ²]	t [mm]
Fy [kg/cm ²]		2805	8,10	6,48	6
Fb [kg/cm ²]		5040			
diámetro del tornillo [mm]		12	Ab [cm ²]		τmax [kg/cm ²]
diámetro del agujero [mm]		13,5	1,13		3225
n° de tornillos por cortante		12	n° secciones por area neta 2		
n° de tornillos por aplastamiento		6			

TORNILLOS DE CONEXION DEL ANGULO

diámetro del tornillo [mm]	12	Ab [cm ²]	Ab net [cm ²]	τmax [kg/cm ²]	Fu [kg/cm ²]
diámetro del agujero [mm]	13,5	1,13	0,889	3885	8415
n° de tornillos por cada clip	2	W de la parte superior del ángulo conectado [cm ³]			
		4,57			
distancia de la primera línea de tornillos a la parte superior del ángulo conectado [mm]					18
distancia de la segunda línea de tornillos de la parte superior del ángulo conectado [mm]					0
distancia de la tercera línea de tornillos de la parte superior del ángulo conectado [mm]					44

ANGULOS CONECTADOS A CORTANTE - CLIPS

Angulo	L	70x70x6	t [mm]	r [mm]	w [mm]
			6	9	70
Fy [kg/cm ²]		2805	l int [mm]	0	un clip
Fb [kg/cm ²]		5040	l ext [mm]	70	un clip
n° de niveles del ángulo conectado a cortante				4	
n° de ángulos por cada nivel				1	

altura del ángulo conectado [cm] =	7
distancia entre los ángulos conectados a cortante [cm] =	8
distancia entre ángulos en una línea de conexión [cm] =	21
longitud embebida [cm] =	36
longitud total [cm] =	36 + 10

CONCRETO

f'c [kg/cm ²]	210
---------------------------	-----

ANCLAJE (STUB)

compresión [kg/cm ²]	2406	<	2805	Compresión / área total+ cortante / (0.75 x área neta)
tracción [kg/cm ²]	2413	<	2805	Tracción / área neta+ cortante / (0.75 x área neta)
aplastamiento [kg/cm ²]	3888	<	5040	Compresión o Tracción / (n° de agujeros x diámetro del tornillo x espesor)

ANGULOS CONECTADOS A CORTANTE - CLIPS

x [mm] =	20,10 Asce 9.9-2		$x = t \times (F_y / (1.19 \times f_c))^{1/2}$
P [kg] =	4382		$P = 1.19 \times f_c \times (l_{int} + l_{ext}) \times (X/2 + r + t)$
[kg]	16797	<	17529 = P x 4 niveles
aplastamiento [kg/cm ²]	2916	<	5040 $\frac{\text{Compresión o Tracción}}{n^\circ \text{ de agujeros} \times \text{diámetro del agujero} \times \text{espesor} \times n^\circ \text{ de niveles}}$

TORNILLOS

cortante [kg/cm ²]	1856	<	3885	Compr. o tracción/ n° de tornillos x área del tornillo
momento flexionante [kgxcm]	5783	=	$(1.19 \times f_c \times X/2 \times \text{longitud del clip externo} \times (X/3 + t + r)) + (1.19 \times f_c \times \text{longitud del clip externo} \times (t + r) \times (t + r) / 2$	
tensión [kg/cm ²]	1267	<	8415	momento flexionante / W del clip
tens.+cortante [kg/cm ²]	0,3	<	1	$= (\text{efectiva } \tau / \text{permisible } \tau)^2 + (\text{efectiva } \sigma / \text{permisible } \sigma)^2$

CONCRETO

σ_{max} [kg/cm ²]	86	<	252	$= 1.2 \times f_c$
Compresión o Tracción / n° de niveles x ancho del clip x (suma de las longitudes de los clips)				

dimensión lateral del cuadrado equivalente	[cm]	7,000	$= (\text{Longitud del casquillo} \times (\text{longitud interna} + \text{longitud externa})) / 2$
profundidad del concreto contra el aplastamiento	[cm]	28	= Longitud embebida / 2 + 10 cm
perímetro del concreto de la sección crítica	[cm]	115,96	= 4 x dimensión de lado + 2 x 3.14 x profundidad del concreto/2
aplastamiento [kg]	16797	<	49877 $= (1.06 \times f_c \times \text{profundidad} \times \text{perímetro})$

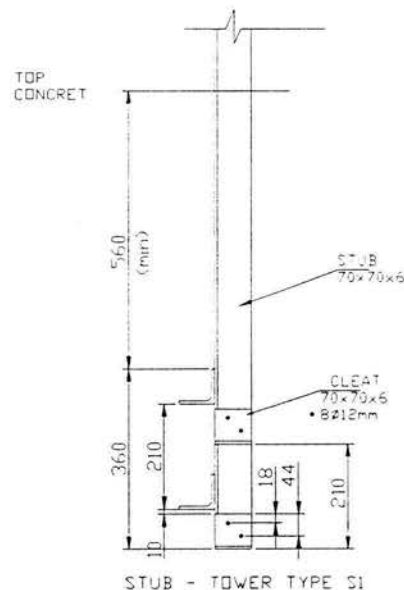


Fig. 7-1 Diseño del anclaje - Stub

Anexo A-1 Coordenadas de nudos (máxima altura).

ABB SAE S.p.A. TOSCA - rel 2.02

*** NODAL DATA ***

NODE NUMBER	EQUAT. SET	NODAL X	POINT		COORDINATES (CM) Z
			Y		
1	19	30.00	350.00		560.00
2	18	-30.00	350.00		560.00
3	11	-30.00	-350.00		560.00
4	12	30.00	-350.00		560.00
5	33	30.00	270.00		560.00
6	29	-30.00	270.00		560.00
7	21	-30.00	-270.00		560.00
8	25	30.00	-270.00		560.00
9	3	30.00	0.00		560.00
10	1	-30.00	0.00		560.00
11	30	30.00	185.00		560.00
12	28	-30.00	185.00		560.00
13	20	-30.00	-185.00		560.00
14	22	30.00	-185.00		560.00
15	14	30.00	95.00		560.00
16	13	-30.00	95.00		560.00
17	6	-30.00	-95.00		560.00
18	7	30.00	-95.00		560.00
19	35	30.00	320.00		500.00
20	34	-30.00	320.00		500.00
21	26	-30.00	-320.00		500.00
22	27	30.00	-320.00		500.00
23	42	30.00	230.00		500.00
24	40	-30.00	230.00		500.00
25	36	-30.00	-230.00		500.00
26	38	30.00	-230.00		500.00
27	5	30.00	0.00		500.00
28	2	-30.00	0.00		500.00
29	32	30.00	140.00		500.00
30	31	-30.00	140.00		500.00
31	23	-30.00	-140.00		500.00
32	24	30.00	-140.00		500.00
33	16	30.00	50.00		500.00
34	15	-30.00	50.00		500.00
35	8	-30.00	-50.00		500.00
36	9	30.00	-50.00		500.00
37	4	0.00	0.00		500.00
38	43	37.16	275.28		410.56
39	41	-37.16	275.28		410.56
40	37	-37.16	-275.28		410.56
41	39	37.16	-275.28		410.56
42	47	44.40	230.00		320.00
43	46	-44.40	230.00		320.00
44	44	-44.40	-230.00		320.00
45	45	44.40	-230.00		320.00
46	57	51.40	147.92		232.46
47	52	-51.40	147.92		232.46
48	48	-51.40	-147.92		232.46
49	49	51.40	-147.92		232.46
50	59	52.94	176.65		213.29
51	58	-52.94	176.65		213.29
52	50	-52.94	-176.65		213.29
53	51	52.94	-176.65		213.29
54	56	58.41	65.84		144.92
55	54	-58.41	65.84		144.92

NODE NUMBER	EQUAT. SET	NODAL X	POINT	COORDINATES (CM)	
				Y	Z
56	53	-58.41	-65.84	144.92	
57	55	58.41	-65.84	144.92	
58	65	61.47	123.29	106.59	
59	63	-61.47	123.29	106.59	
60	61	-61.47	-123.29	106.59	
61	62	61.47	-123.29	106.59	
62	64	64.02	0.00	74.70	
63	60	-64.02	0.00	74.70	
64	73	70.00	70.00	0.00	
65	68	-70.00	70.00	0.00	
66	66	-70.00	-70.00	0.00	
67	70	70.00	-70.00	0.00	
68	17	0.00	510.00	500.00	
69	10	0.00	-510.00	500.00	
70	72	70.00	0.00	0.00	
71	67	-70.00	0.00	0.00	
72	71	0.00	70.00	0.00	
73	69	0.00	-70.00	0.00	
74	77	78.04	78.04	-70.00	
75	75	-78.04	78.04	-70.00	
76	74	-78.04	-78.04	-70.00	
77	76	78.04	-78.04	-70.00	
78	81	98.70	98.70	-250.00	
79	79	-98.70	98.70	-250.00	
80	78	-98.70	-98.70	-250.00	
81	80	98.70	-98.70	-250.00	
82	89	110.19	110.19	-350.00	
83	84	-110.19	110.19	-350.00	
84	82	-110.19	-110.19	-350.00	
85	86	110.19	-110.19	-350.00	
86	88	110.19	0.00	-350.00	
87	83	-110.19	0.00	-350.00	
88	87	0.00	110.19	-350.00	
89	85	0.00	-110.19	-350.00	
90	93	133.15	133.15	-550.00	
91	91	-133.15	133.15	-550.00	
92	90	-133.15	-133.15	-550.00	
93	92	133.15	-133.15	-550.00	
94	101	156.11	156.11	-750.00	
95	98	-156.11	156.11	-750.00	
96	96	-156.11	-156.11	-750.00	
97	94	156.11	-156.11	-750.00	
98	100	156.11	0.00	-750.00	
99	97	-156.11	0.00	-750.00	
100	99	0.00	156.11	-750.00	
101	95	0.00	-156.11	-750.00	
102	109	190.56	190.56	-1050.00	
103	106	-190.56	190.56	-1050.00	
104	104	-190.56	-190.56	-1050.00	
105	102	190.56	-190.56	-1050.00	
106	108	190.56	0.00	-1050.00	
107	105	-190.56	0.00	-1050.00	
108	107	0.00	190.56	-1050.00	
109	103	0.00	-190.56	-1050.00	
130	117	247.96	247.96	-1550.00	
131	114	-247.96	247.96	-1550.00	
132	112	-247.96	-247.96	-1550.00	
133	110	247.96	-247.96	-1550.00	
134	116	247.96	0.00	-1550.00	
135	113	-247.96	0.00	-1550.00	
136	115	0.00	247.96	-1550.00	
137	111	0.00	-247.96	-1550.00	
138	129	259.44	259.44	-1650.00	

NODE NUMBER	EQUAT. SET	NODAL X	POINT		COORDINATES (CM)
			Y	Z	Z
139	126	-259.44	259.44	-1650.00	
140	123	-259.44	-259.44	-1650.00	
141	120	259.44	-259.44	-1650.00	
142	128	259.44	68.89	-1650.00	
143	125	-259.44	68.89	-1650.00	
144	122	-259.44	-68.89	-1650.00	
145	119	259.44	-68.89	-1650.00	
146	127	68.89	259.44	-1650.00	
147	124	-68.89	259.44	-1650.00	
148	121	-68.89	-259.44	-1650.00	
149	118	68.89	-259.44	-1650.00	
P3-1	130	316.84	316.84	-2150.00	
P3-2	131	-316.84	316.84	-2150.00	
P3-3	132	-316.84	-316.84	-2150.00	
P3-4	133	316.84	-316.84	-2150.00	

Anexo A-2 Incidencias de miembros (máxima altura)

ABB SAE S.p.A.
S1.S602

TOSCA - rel 2.02

*** MEMBERS INCIDENCES AND PROPERTIERS ***						
Struc	Memb No	I	J	UNIF	AREA cm2	DW Kg/m
COMM	1	42	50	DD01	6.91	5.42
COMM	2	43	51	DD01	6.91	5.42
COMM	3	44	52	DD01	6.91	5.42
COMM	4	45	53	DD01	6.91	5.42
COMM	5	50	58	DD01	6.91	5.42
COMM	6	51	59	DD01	6.91	5.42
COMM	7	52	60	DD01	6.91	5.42
COMM	8	53	61	DD01	6.91	5.42
COMM	9	58	64	DD01	6.91	5.42
COMM	10	59	65	DD01	6.91	5.42
COMM	11	60	66	DD01	6.91	5.42
COMM	12	61	67	DD01	6.91	5.42
COMM	13	42	46	DD02	3.90	3.06
COMM	14	43	47	DD02	3.90	3.06
COMM	15	44	48	DD02	3.90	3.06
COMM	16	45	49	DD02	3.90	3.06
COMM	17	62	54	DD02	3.90	3.06
COMM	18	62	57	DD02	3.90	3.06
COMM	19	63	55	DD02	3.90	3.06
COMM	20	63	56	DD02	3.90	3.06
COMM	21	46	54	DD02	3.90	3.06
COMM	22	47	55	DD02	3.90	3.06
COMM	23	48	56	DD02	3.90	3.06
COMM	24	49	57	DD02	3.90	3.06
COMM	25	62	64	DD03	6.16	4.84
COMM	26	62	67	DD03	6.16	4.84
COMM	27	63	66	DD03	6.16	4.84
COMM	28	63	65	DD03	6.16	4.84
COMM	29	19	38	DD04	6.91	5.42
COMM	30	20	39	DD04	6.91	5.42
COMM	31	21	40	DD04	6.91	5.42
COMM	32	22	41	DD04	6.91	5.42
COMM	33	38	42	DD04	6.91	5.42
COMM	34	39	43	DD04	6.91	5.42
COMM	35	40	44	DD04	6.91	5.42
COMM	36	41	45	DD04	6.91	5.42
COMM	37	23	42	DD05	3.90	3.06
COMM	38	24	43	DD05	3.90	3.06
COMM	39	25	44	DD05	3.90	3.06
COMM	40	26	45	DD05	3.90	3.06
COMM	41	5	1	DD10	3.90	3.06
COMM	42	6	2	DD10	3.90	3.06
COMM	43	7	3	DD10	3.90	3.06
COMM	44	8	4	DD10	3.90	3.06
COMM	45	5	19	DD11	3.08	2.42
COMM	46	6	20	DD11	3.08	2.42
COMM	47	7	21	DD11	3.08	2.42
COMM	48	8	22	DD11	3.08	2.42
COMM	49	19	1	DD12	6.91	5.42
COMM	50	20	2	DD12	6.91	5.42
COMM	51	21	3	DD12	6.91	5.42
COMM	52	22	4	DD12	6.91	5.42
COMM	53	23	5	DD13	3.08	2.42
COMM	54	24	6	DD13	3.08	2.42
COMM	55	25	7	DD13	3.08	2.42
COMM	56	26	8	DD13	3.08	2.42

Struc	Memb No	I	J	UNIF	AREA cm2	DW Kg/m
COMM	57	23	19	DD14	5.69	4.47
COMM	58	24	20	DD14	5.69	4.47
COMM	59	25	21	DD14	5.69	4.47
COMM	60	26	22	DD14	5.69	4.47
COMM	61	23	29	DD15	5.69	4.47
COMM	62	24	30	DD15	5.69	4.47
COMM	63	25	31	DD15	5.69	4.47
COMM	64	26	32	DD15	5.69	4.47
COMM	65	27	36	DD15	5.69	4.47
COMM	66	27	33	DD15	5.69	4.47
COMM	67	28	35	DD15	5.69	4.47
COMM	68	28	34	DD15	5.69	4.47
COMM	69	29	33	DD15	5.69	4.47
COMM	70	30	34	DD15	5.69	4.47
COMM	71	31	35	DD15	5.69	4.47
COMM	72	32	36	DD15	5.69	4.47
COMM	73	5	11	DD16	3.90	3.06
COMM	74	6	12	DD16	3.90	3.06
COMM	75	7	13	DD16	3.90	3.06
COMM	76	8	14	DD16	3.90	3.06
COMM	77	9	15	DD16	3.90	3.06
COMM	78	9	18	DD16	3.90	3.06
COMM	79	10	16	DD16	3.90	3.06
COMM	80	10	17	DD16	3.90	3.06
COMM	81	11	15	DD16	3.90	3.06
COMM	82	12	16	DD16	3.90	3.06
COMM	83	13	17	DD16	3.90	3.06
COMM	84	14	18	DD16	3.90	3.06
COMM	85	5	6	DD19	3.08	2.42
COMM	86	7	8	DD19	3.08	2.42
COMM	87	19	2	DD20	3.08	2.42
COMM	88	21	4	DD20	3.08	2.42
COMM	89	1	20	DD20	3.08	2.42
COMM	90	3	22	DD20	3.08	2.42
COMM	91	1	2	DD21	3.08	2.42
COMM	92	3	4	DD21	3.08	2.42
COMM	93	19	24	DD31	3.08	2.42
COMM	94	21	26	DD31	3.08	2.42
COMM	95	23	20	DD31	3.08	2.42
COMM	96	25	22	DD31	3.08	2.42
COMM	97	23	24	DD32	3.49	2.74
COMM	98	25	26	DD32	3.49	2.74
COMM	99	23	30	DD33	3.08	2.42
COMM	100	25	32	DD33	3.08	2.42
COMM	101	29	24	DD33	3.08	2.42
COMM	102	31	26	DD33	3.08	2.42
COMM	103	29	34	DD34	3.08	2.42
COMM	104	31	36	DD34	3.08	2.42
COMM	105	33	30	DD34	3.08	2.42
COMM	106	35	32	DD34	3.08	2.42
COMM	107	33	37	DD35	3.08	2.42
COMM	108	34	37	DD35	3.08	2.42
COMM	109	35	37	DD35	3.08	2.42
COMM	110	36	37	DD35	3.08	2.42
COMM	111	27	37	DD36	6.16	4.84
COMM	112	28	37	DD36	6.16	4.84
COMM	113	23	11	DD37	3.08	2.42
COMM	114	24	12	DD37	3.08	2.42
COMM	115	25	13	DD37	3.08	2.42
COMM	116	26	14	DD37	3.08	2.42
COMM	117	29	11	DD38	3.08	2.42
COMM	118	30	12	DD38	3.08	2.42
COMM	119	31	13	DD38	3.08	2.42
COMM	120	32	14	DD38	3.08	2.42

Struc	Memb No	I	J	UNIF	AREA cm2	DW Kg/m
COMM	121	29	15	DD39	3.08	2.42
COMM	122	30	16	DD39	3.08	2.42
COMM	123	31	17	DD39	3.08	2.42
COMM	124	32	18	DD39	3.08	2.42
COMM	125	33	15	DD40	3.08	2.42
COMM	126	34	16	DD40	3.08	2.42
COMM	127	35	17	DD40	3.08	2.42
COMM	128	36	18	DD40	3.08	2.42
COMM	129	9	36	DD41	3.08	2.42
COMM	130	9	33	DD41	3.08	2.42
COMM	131	10	34	DD41	3.08	2.42
COMM	132	10	35	DD41	3.08	2.42
COMM	133	27	9	DD42	3.08	2.42
COMM	134	28	10	DD42	3.08	2.42
COMM	135	9	10	DD43	3.08	2.42
COMM	136	37	10	DD44	6.16	4.84
COMM	137	37	9	DD44	6.16	4.84
COMM	138	19	20	DD60	3.49	2.74
COMM	139	21	22	DD60	3.49	2.74
COMM	140	19	39	DD61	3.08	2.42
COMM	141	21	41	DD61	3.08	2.42
COMM	142	38	20	DD61	3.08	2.42
COMM	143	40	22	DD61	3.08	2.42
COMM	144	42	39	DD62	3.08	2.42
COMM	145	44	41	DD62	3.08	2.42
COMM	146	38	43	DD62	3.08	2.42
COMM	147	40	45	DD62	3.08	2.42
COMM	148	42	51	DD63	3.08	2.42
COMM	149	44	53	DD63	3.08	2.42
COMM	150	50	43	DD63	3.08	2.42
COMM	151	52	45	DD63	3.08	2.42
COMM	152	50	59	DD64	3.08	2.42
COMM	153	52	61	DD64	3.08	2.42
COMM	154	58	51	DD64	3.08	2.42
COMM	155	60	53	DD64	3.08	2.42
COMM	156	64	59	DD65	3.08	2.42
COMM	157	66	61	DD65	3.08	2.42
COMM	158	58	65	DD65	3.08	2.42
COMM	159	60	67	DD65	3.08	2.42
COMM	160	42	47	DD81	3.08	2.42
COMM	161	44	49	DD81	3.08	2.42
COMM	162	46	43	DD81	3.08	2.42
COMM	163	48	45	DD81	3.08	2.42
COMM	164	46	55	DD82	3.08	2.42
COMM	165	48	57	DD82	3.08	2.42
COMM	166	54	47	DD82	3.08	2.42
COMM	167	56	49	DD82	3.08	2.42
COMM	168	62	55	DD83	3.08	2.42
COMM	169	63	57	DD83	3.08	2.42
COMM	170	54	63	DD83	3.08	2.42
COMM	171	56	62	DD83	3.08	2.42
COMM	172	62	58	_____	0.02	0.00
COMM	173	62	61	_____	0.02	0.00
COMM	174	63	59	_____	0.02	0.00
COMM	175	63	60	_____	0.02	0.00
COMM	176	23	38	_____	0.02	0.00
COMM	177	24	39	_____	0.02	0.00
COMM	178	25	40	_____	0.02	0.00
COMM	179	26	41	_____	0.02	0.00
COMM	180	5	12	_____	0.02	0.00
COMM	181	6	11	_____	0.02	0.00
COMM	182	7	14	_____	0.02	0.00
COMM	183	8	13	_____	0.02	0.00
COMM	184	11	16	_____	0.02	0.00

Memoria de Desempeño Profesional

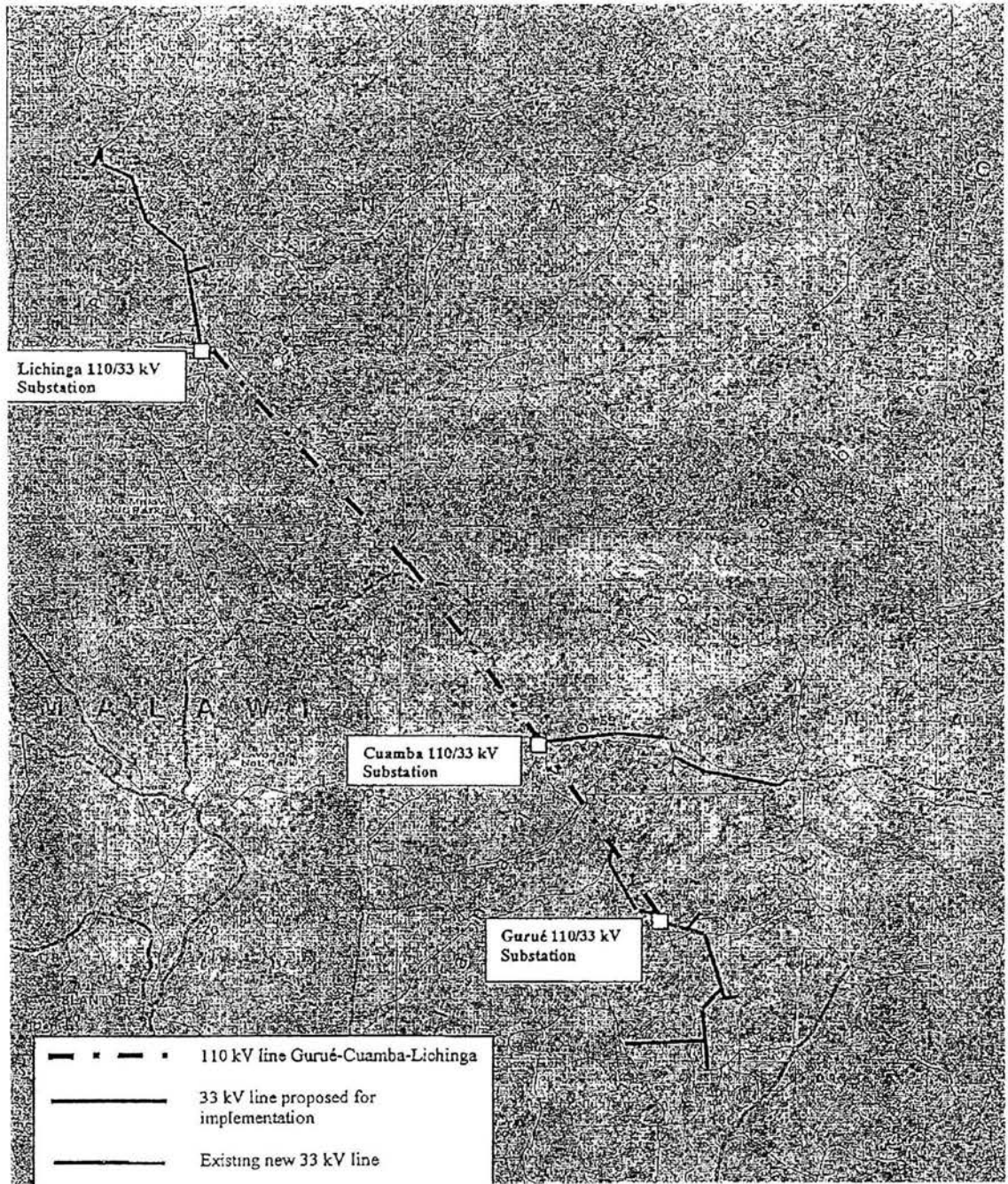
Struc	Memb No	I	J	UNIF	AREA cm2	DW Kg/m
COMM	185	12	15	_____	0.02	0.00
COMM	186	13	18	_____	0.02	0.00
COMM	187	14	17	_____	0.02	0.00
COMM	188	15	10	_____	0.02	0.00
COMM	189	16	9	_____	0.02	0.00
COMM	190	17	9	_____	0.02	0.00
COMM	191	18	10	_____	0.02	0.00
COMM	192	50	46	_____	0.02	0.00
COMM	193	51	47	_____	0.02	0.00
COMM	194	52	48	_____	0.02	0.00
COMM	195	53	49	_____	0.02	0.00
COMM	196	58	46	_____	0.02	0.00
COMM	197	58	54	_____	0.02	0.00
COMM	198	59	47	_____	0.02	0.00
COMM	199	59	55	_____	0.02	0.00
COMM	200	60	48	_____	0.02	0.00
COMM	201	60	56	_____	0.02	0.00
COMM	202	61	49	_____	0.02	0.00
COMM	203	61	57	_____	0.02	0.00
MENS	204	68	19	MA01	5.69	4.47
MENS	205	68	20	MA01	5.69	4.47
MENS	206	69	21	MA01	5.69	4.47
MENS	207	69	22	MA01	5.69	4.47
MENS	208	68	1	MA02	3.49	2.74
MENS	209	68	2	MA02	3.49	2.74
MENS	210	69	3	MA02	3.49	2.74
MENS	211	69	4	MA02	3.49	2.74
FUST	212	64	74	B101	6.91	5.42
FUST	213	65	75	B101	6.91	5.42
FUST	214	66	76	B101	6.91	5.42
FUST	215	67	77	B101	6.91	5.42
FUST	216	74	78	B101	6.91	5.42
FUST	217	75	79	B101	6.91	5.42
FUST	218	76	80	B101	6.91	5.42
FUST	219	77	81	B101	6.91	5.42
FUST	220	78	82	B101	6.91	5.42
FUST	221	79	83	B101	6.91	5.42
FUST	222	80	84	B101	6.91	5.42
FUST	223	81	85	B101	6.91	5.42
FUST	224	82	90	B101	6.91	5.42
FUST	225	83	91	B101	6.91	5.42
FUST	226	84	92	B101	6.91	5.42
FUST	227	85	93	B101	6.91	5.42
FUST	228	90	94	B101	6.91	5.42
FUST	229	91	95	B101	6.91	5.42
FUST	230	92	96	B101	6.91	5.42
FUST	231	93	97	B101	6.91	5.42
FUST	232	94	102	B101	6.91	5.42
FUST	233	95	103	B101	6.91	5.42
FUST	234	96	104	B101	6.91	5.42
FUST	235	97	105	B101	6.91	5.42
FUST	236	64	70	B111	3.90	3.06
FUST	237	65	71	B111	3.90	3.06
FUST	238	66	71	B111	3.90	3.06
FUST	239	67	70	B111	3.90	3.06
FUST	240	70	77	B112	3.08	2.42
FUST	241	70	74	B112	3.08	2.42
FUST	242	71	75	B112	3.08	2.42
FUST	243	71	76	B112	3.08	2.42
FUST	244	75	80	B113	3.08	2.42
FUST	245	77	78	B113	3.08	2.42
FUST	246	79	76	B113	3.08	2.42
FUST	247	81	74	B113	3.08	2.42
FUST	248	78	86	B114	3.08	2.42

Struc	Memb No	I	J	UNIF	AREA cm2	DW Kg/m
FUST	249	79	87	B114	3.08	2.42
FUST	250	80	87	B114	3.08	2.42
FUST	251	81	86	B114	3.08	2.42
FUST	252	82	86	B115	3.49	2.74
FUST	253	83	87	B115	3.49	2.74
FUST	254	84	87	B115	3.49	2.74
FUST	255	85	86	B115	3.49	2.74
FUST	256	86	93	B116	3.08	2.42
FUST	257	86	90	B116	3.08	2.42
FUST	258	87	91	B116	3.08	2.42
FUST	259	87	92	B116	3.08	2.42
FUST	260	90	98	B117	3.08	2.42
FUST	261	91	99	B117	3.08	2.42
FUST	262	92	99	B117	3.08	2.42
FUST	263	93	98	B117	3.08	2.42
FUST	264	94	98	B118	4.72	3.71
FUST	265	95	99	B118	4.72	3.71
FUST	266	96	99	B118	4.72	3.71
FUST	267	97	98	B118	4.72	3.71
FUST	268	98	105	B119	4.72	3.71
FUST	269	98	102	B119	4.72	3.71
FUST	270	99	103	B119	4.72	3.71
FUST	271	99	104	B119	4.72	3.71
FUST	272	64	72	B151	3.90	3.06
FUST	273	65	72	B151	3.90	3.06
FUST	274	66	73	B151	3.90	3.06
FUST	275	67	73	B151	3.90	3.06
FUST	276	72	74	B152	3.08	2.42
FUST	277	72	75	B152	3.08	2.42
FUST	278	73	76	B152	3.08	2.42
FUST	279	73	77	B152	3.08	2.42
FUST	280	74	79	B153	3.08	2.42
FUST	281	76	81	B153	3.08	2.42
FUST	282	78	75	B153	3.08	2.42
FUST	283	80	77	B153	3.08	2.42
FUST	284	78	88	B154	3.08	2.42
FUST	285	79	88	B154	3.08	2.42
FUST	286	80	89	B154	3.08	2.42
FUST	287	81	89	B154	3.08	2.42
FUST	288	82	88	B155	3.49	2.74
FUST	289	83	88	B155	3.49	2.74
FUST	290	84	89	B155	3.49	2.74
FUST	291	85	89	B155	3.49	2.74
FUST	292	88	90	B156	3.08	2.42
FUST	293	88	91	B156	3.08	2.42
FUST	294	89	92	B156	3.08	2.42
FUST	295	89	93	B156	3.08	2.42
FUST	296	90	100	B157	3.08	2.42
FUST	297	91	100	B157	3.08	2.42
FUST	298	92	101	B157	3.08	2.42
FUST	299	93	101	B157	3.08	2.42
FUST	300	94	100	B158	4.72	3.71
FUST	301	95	100	B158	4.72	3.71
FUST	302	96	101	B158	4.72	3.71
FUST	303	97	101	B158	4.72	3.71
FUST	304	100	102	B159	4.72	3.71
FUST	305	100	103	B159	4.72	3.71
FUST	306	101	104	B159	4.72	3.71
FUST	307	101	105	B159	4.72	3.71
FUST	308	70	72	B1H3	3.49	2.74
FUST	309	70	73	B1H3	3.49	2.74
FUST	310	71	72	B1H3	3.49	2.74
FUST	311	71	73	B1H3	3.49	2.74
FUST	312	106	105	B1I1	4.72	3.71

Struc	Memb No	I	J	UNIF	AREA cm2	DW Kg/m
FUST	313	106	102	B1I1	4.72	3.71
FUST	314	107	103	B1I1	4.72	3.71
FUST	315	107	104	B1I1	4.72	3.71
FUST	316	108	102	B1I2	4.72	3.71
FUST	317	108	103	B1I2	4.72	3.71
FUST	318	109	104	B1I2	4.72	3.71
FUST	319	109	105	B1I2	4.72	3.71
FUST	320	70	71	_____	0.02	0.00
FUST	321	86	88	_____	0.02	0.00
FUST	322	86	89	_____	0.02	0.00
FUST	323	86	87	_____	0.02	0.00
FUST	324	87	88	_____	0.02	0.00
FUST	325	87	89	_____	0.02	0.00
FUST	326	98	99	_____	0.02	0.00
FUST	327	98	100	_____	0.02	0.00
FUST	328	98	101	_____	0.02	0.00
FUST	329	99	101	_____	0.02	0.00
FUST	330	99	100	_____	0.02	0.00
FUST	331	106	98	_____	0.02	0.00
FUST	332	106	108	_____	0.02	0.00
FUST	333	106	109	_____	0.02	0.00
FUST	334	106	107	_____	0.02	0.00
FUST	335	107	99	_____	0.02	0.00
FUST	336	107	108	_____	0.02	0.00
FUST	337	107	109	_____	0.02	0.00
FUST	338	108	100	_____	0.02	0.00
FUST	339	109	101	_____	0.02	0.00
EX06	405	102	130	B301	8.10	6.36
EX06	406	103	131	B301	8.10	6.36
EX06	407	104	132	B301	8.10	6.36
EX06	408	105	133	B301	8.10	6.36
EX06	409	130	138	B301	8.10	6.36
EX06	410	131	139	B301	8.10	6.36
EX06	411	132	140	B301	8.10	6.36
EX06	412	133	141	B301	8.10	6.36
EX06	413	106	133	B311	3.49	2.74
EX06	414	106	130	B311	3.49	2.74
EX06	415	107	131	B311	3.49	2.74
EX06	416	107	132	B311	3.49	2.74
EX06	417	142	138	B312	3.90	3.06
EX06	418	143	139	B312	3.90	3.06
EX06	419	144	140	B312	3.90	3.06
EX06	420	145	141	B312	3.90	3.06
EX06	421	134	142	B313	6.16	4.84
EX06	422	134	145	B313	6.16	4.84
EX06	423	135	144	B313	6.16	4.84
EX06	424	135	143	B313	6.16	4.84
EX06	425	142	130	B314	4.72	3.71
EX06	426	143	131	B314	4.72	3.71
EX06	427	144	132	B314	4.72	3.71
EX06	428	145	133	B314	4.72	3.71
EX06	429	134	130	B315	4.72	3.71
EX06	430	134	133	B315	4.72	3.71
EX06	431	135	132	B315	4.72	3.71
EX06	432	135	131	B315	4.72	3.71
EX06	433	108	130	B351	3.49	2.74
EX06	434	108	131	B351	3.49	2.74
EX06	435	109	132	B351	3.49	2.74
EX06	436	109	133	B351	3.49	2.74
EX06	437	146	138	B352	3.90	3.06
EX06	438	147	139	B352	3.90	3.06
EX06	439	148	140	B352	3.90	3.06
EX06	440	149	141	B352	3.90	3.06
EX06	441	136	146	B353	6.16	4.84

Struc	Memb No	I	J	UNIF	AREA cm2	DW Kg/m
EX06	442	136	147	B353	6.16	4.84
EX06	443	137	148	B353	6.16	4.84
EX06	444	137	149	B353	6.16	4.84
EX06	445	146	130	B354	4.72	3.71
EX06	446	147	131	B354	4.72	3.71
EX06	447	148	132	B354	4.72	3.71
EX06	448	149	133	B354	4.72	3.71
EX06	449	136	130	B355	4.72	3.71
EX06	450	136	131	B355	4.72	3.71
EX06	451	137	132	B355	4.72	3.71
EX06	452	137	133	B355	4.72	3.71
EX06	453	134	136	_____	0.02	0.00
EX06	454	134	137	_____	0.02	0.00
EX06	455	134	135	_____	0.02	0.00
EX06	456	134	146	_____	0.02	0.00
EX06	457	134	149	_____	0.02	0.00
EX06	458	135	137	_____	0.02	0.00
EX06	459	135	147	_____	0.02	0.00
EX06	460	135	148	_____	0.02	0.00
EX06	461	135	136	_____	0.02	0.00
EX06	462	142	146	_____	0.02	0.00
EX06	463	143	147	_____	0.02	0.00
EX06	464	144	148	_____	0.02	0.00
EX06	465	145	149	_____	0.02	0.00
EX06	466	136	142	_____	0.02	0.00
EX06	467	136	143	_____	0.02	0.00
EX06	468	137	144	_____	0.02	0.00
EX06	469	137	145	_____	0.02	0.00
P3	P301	138	P3-1	P301	8.10	6.36
P3	P304	139	P3-2	P301	8.10	6.36
P3	P307	140	P3-3	P301	8.10	6.36
P3	P310	141	P3-4	P301	8.10	6.36
P3	P302	142	P3-1	P311	3.90	3.06
P3	P305	143	P3-2	P311	3.90	3.06
P3	P308	144	P3-3	P311	3.90	3.06
P3	P311	145	P3-4	P311	3.90	3.06
P3	P303	146	P3-1	P351	3.90	3.06
P3	P306	147	P3-2	P351	3.90	3.06
P3	P309	148	P3-3	P351	3.90	3.06
P3	P312	149	P3-4	P351	3.90	3.06

Anexo A-3 Mapa de la Ruta de la Línea.



Anexo A-4 Reporte de Prueba



TOWER TESTING STATION

Date : 06/06/2003
Reference : SC 03 - 619
Enquiries : D.L. STEVENS
Tel : 011 - 626 2918
Fax : 011 - 626 2904

CLIENT: ABB – SOUTH AFRICA (Pty) Ltd

PRELIMINARY TEST CERTIFICATE

Sirs,

TEST OBJECT DESCRIPTION

110 kV, SINGLE CIRCUIT, 0 – 1° SUSPENSION STRUCTURE TYPE “S1”

OVERVIEW OF TESTS CONDUCTED

From the 3rd of June 2003 till the 6th of June 2003, a 110 kV single circuit 0 – 1 Deg. Suspension Tower, was tested at the Tower Testing Station, TSI, South Africa. The tests have been performed according to the IEC Publication 652. The tests conducted are as listed

- Test 1 : Service Loads
- Test 2 : Broken Conductor Condition – Middle phase
- Test 3 : Broken Conductor Condition – Right phase
- Test 4 : Wind Diagonal to Tower
- Test 5 : Wind Perpendicular to Tower

The summary of the test results are as listed:

Test 1 Run 1, Test 2 Run 1 and Test 3 Run 1 were conducted on the 3rd of June 2003, and the tower successfully withheld the applied loads for 60 seconds.

Test 5 Run 1 and Test 4 Run 1 were conducted on the 5th and 6th of June 2003 respectively. The tower successfully withheld the applied loads for 60 seconds.

The tower has satisfactorily withheld all the loads as per IEC 652 specification.

Yours faithfully

D.L. STEVENS

ACTING TOWER TESTING STATION MANAGER

ESKOM ENTERPRISES (Pty) LTD – TECHNOLOGY SERVICES INTERNATIONAL

Lower Germiston Road, Rosshville, Gauteng, Private Bag 40175, Cleveland 2022, SA
Tel: +27 11 629 5111 Fax: +27 11 629 5229 Web Address: www.TSI.SA.com

Directors: T.S. Gcabasha (Chairman) | A. De Beer (Chief Executive Officer)
S. Dzalek-Hlongwane (Non-executive) | D.R. Gcoombh (Non-executive) | K.J. Hlongwane (Non-executive)
P.D. Makhwina (Managing Director – Africa) | R.S. Moloko (Executive Director) | U.B. Mouton (Non-executive)
R. Nkomo (Executive Director) | V.T.I. Nqalima (Executive Director) | D.M. Kanyatho (Non-executive)
A Division of Eskom Enterprises (Pty) Limited
Reg No 1999/002761/07



CONCLUSIONES.

Es una satisfacción, presentar como trabajo de tesis en la modalidad de "*Memoria de Desempeño Profesional*" el diseño de la torre de transmisión S1 del proyecto de *Mozambique de la línea de Transmisión, de 110 kV, Gurue-Cuamba-Lichinga*, por ser una estructura probada a escala natural, con resultado satisfactorio para el proyecto en general. Además que, desde hace más de 7 años me he desempeñado profesionalmente en el diseño de torres de alta tensión.

Las torres de alta tensión son estructuras interesantes por la prueba mecánica a escala natural a que son sometidas, debido a que son pocas las estructuras en su género que se someten este tipo de pruebas. La selección de las cargas que son aplicadas a la estructura en dicha prueba, son indicadas por el cliente y ocasionalmente con sugerencias del proyectista.

La prueba mecánica a escala natural a la que fue sometida la torre de transmisión S1, garantiza la estabilidad de la línea en la que será utilizada, así como para el diseño del resto de las torres S2, T1 y T2 que componen la línea de transmisión; para estas últimas sólo se requirió el armado de prototipo a escala natural para asegurar su ensamble en la construcción y una de las razones principales de no someter a la prueba mecánica a éstas es debido a que la torre S1 representa en cantidad el 90% total de torres (933) a utilizar en toda la línea.

Para el buen desarrollo de un proyecto es importante leer cuidadosamente las especificaciones técnicas de éste y aclarar cualquier duda con el cliente con el fin de evitar errores que pudieran afectar el diseño final de la torre; además es recomendable elaborar los criterios de diseño basados en las especificaciones técnicas y deberán ser presentados al cliente para sus observaciones y/o comentarios.

Los criterios de diseño deben contener lo esencial para el análisis y diseño de la torre, desde la norma o estándares de diseño hasta el tipo de material a emplear como es mostrado en los capítulos 1.3 y 2.

La secuencia de diseño presentada en esta memoria, es la requerida para cualquier tipo de torre de transmisión en cuanto a voltaje se refiere. El diseño contempla un cuerpo básico constituida por crucetas, horquilla y cuerpo común, con extensiones de cuerpo y patas intercambiables; cumpliendo así con las necesidades requeridas en el proyecto con una amplia gama de niveles producto de combinaciones de extensiones de cuerpo y patas.

Las cargas aplicadas y normas de diseño utilizadas en este proyecto están de acuerdo a lo especificado por el cliente.

Para profesionistas y egresados de la carrera de ingeniería civil con conocimientos básicos en el tema, este trabajo presentado puede ser utilizado como guía para el diseño de Torres de acero autosoportadas de líneas de Alta Tensión.

REFERENCIAS

- ◆ ANSI/ASCE 10-97 "DESIGN OF LATTICED STEEL TRANSMISSION STRUCTURES"
ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEER)
FIRST EDITION
RESTON, VIRGINIA USA
1997

- ◆ DISEÑO DE TORRES PARA LINEAS DE TRANSMISIÓN J1000-50
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (C.F.E.)
MÉXICO D.F.
1994

- ◆ ENRIQUEZ HARPER GILBERTO
FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EDITORIAL LIMUSA
PRIMERA EDICIÓN
MÉXICO D.F.
1985

- ◆ HOFF NICHOLAS JOHN
THE ANÁLISIS OF STRUCTURES
FIRST EDITION
JOHN WILEY & SONS, INC.
NEW YORK, USA
1985

- ◆ MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION
AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC)
FIRST EDITION
CHICAGO, ILLINOIS USA
1991

- ◆ RURAL ELECTRIFICATION ADMINISTRATION
UNITED STATES DEPARMENT OF AGRICULTURE
DESIGN MANUAL FOR HIGH VOLTAJE TRANSMISIÓN LINES
REA BOLETÍN 62-1
WASHIGTON D.C. USA
1981