

**PROPUESTA DEL USO DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO  
PRETENSADO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS DE 230, 115 Y 34.5 KV.**

**WILTON HEBERTO GONZÁLEZ PARRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2007**

**PROPUESTA DEL USO DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO  
PRETENSADO EN LÍNEAS ELÉCTRICAS DE 230, 115 Y 34.5 KV.**

**WILTON HEBERTO GONZÁLEZ PARRA**

**Proyecto de Grado para optar al título de ingeniero Civil**

**Director  
RICARDO CRUZ HERNÁNDEZ.  
Ing. Civil, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2007**

*A Dios, A mis padres y hermanos por la comprensión y sobre todo por la paciencia.*

*A todos mis amigos; los que creen en mí a pesar de los problemas.*

*A mi hijo santiago y a ingrith por su compañía en todo momento.*

*A todos los que se sientan parte de mi familia*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director Phd. Ing. Ricardo Cruz H. por su orientación y apoyo y al Ing. Ciro Jurado Jerez.

A mis compañeros de proyecto William y Vladimir.

Al ingeniero Iván Martínez (PRETECOR) por el respaldo al proyecto.

A la mejor Universidad, la Universidad Industrial de Santander.

A mi familia por brindarme toda su comprensión y apoyo sin los cuales no hubiese podido culminar éste proyecto.

A los amigos que estuvieron incondicionalmente a mi lado ofreciéndome su colaboración y compañía.

Y a todos los que olvidé nombrar.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	20
1. ASPECTOS TEÓRICOS DEL CONCRETO PRETENSADO .....	23
1.1 INTRODUCCIÓN .....	23
1.2 ANTECEDENTES .....	23
1.2.1 Concreto preesforzado .....	23
1.2.2 Concreto pretensado .....	24
1.2.3 Elementos de concreto fabricados en planta .....	25
1.2.4 Método de fabricación de postes de concreto pretensado .....	26
1.3 MODELO ESTRUCTURAL .....	27
1.3.1 Materiales. ....	27
1.3.2 Cargas de trabajo .....	28
1.3.3 Descripción de la estructura .....	30
1.3.4 Capacidad de momento última de la estructura .....	31
1.4 CONSIDERACIONES BÁSICAS .....	31
1.5 MOMENTO DE AGRIETAMIENTO .....	39
1.6 RETRACCIÓN DE FRAGUADO .....	41
1.7 CORTANTE, TORSIÓN Y ESFUERZOS COMBINADOS .....	41
1.7.1 Resistencia a cortante .....	41
1.7.2 Resistencia a torsión .....	42
1.7.3 Resistencia a esfuerzos combinados .....	43
2. ASPECTOS TEÓRICOS DE LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS .....	44
2.1 INTRODUCCIÓN .....	44
2.2 ESFUERZOS .....	44
2.2.1 Consideraciones generales sobre esfuerzos .....	44
2.2.2 Clasificación de los esfuerzos .....	44
2.3 ASLADORES .....	46
2.3.1 Naturaleza .....	46
2.3.2 Cálculo eléctrico .....	46
2.3.3 Coeficiente de seguridad .....	47
2.3.4 Peso de los aisladores .....	48
2.4 CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA .....	48
2.4.1 Naturaleza de los conductores .....	48
2.4.2 Naturaleza de los cables de guarda .....	49
2.4.3 Hipótesis de diseño .....	50
2.4.4 Tensión mecánica .....	50
2.4.5 Determinación de la flecha .....	52
2.4.6 Vano máximo .....	53
2.4.7 Acción del viento sobre los conductores .....	53
2.4.8 Peso de los conductores .....	55
2.4.9 Distancias mínimas de los conductores .....	55
2.4.10 Modelo Electrogeométrico .....	57
2.5 ESTRUCTURAS .....	58

2.5.1	Naturaleza .....	58
2.5.2	Tipo.....	58
2.5.3	Cálculo mecánico. ....	59
2.5.4	Factores de seguridad.....	61
2.5.5	Condiciones de carga.....	62
2.5.6	Condición de carga normal. ....	62
2.5.7	Condición de carga anormal. ....	62
3.	CONSIDERACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO .....	64
3.1	INTRODUCCIÓN .....	64
3.2	AISLADORES .....	64
3.2.1	Consideraciones ambientales. ....	64
3.2.2	Criterios de selección. ....	64
3.2.3	Criterios de diseño. ....	65
3.3	CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA.....	66
3.3.1	Consideraciones ambientales. ....	66
3.3.2	Criterios de selección de los conductores. ....	67
3.3.3	Criterios de selección de los cables de guarda.....	67
3.3.4	Criterios de diseño. ....	68
3.4	ESTRUCTURAS .....	70
3.4.1	Consideraciones constructivas. ....	70
3.4.2	Criterio de selección.....	70
3.4.3	Criterios de diseño. ....	71
3.5	CONSIDERACIONES ADICIONALES DE DISEÑO.....	83
3.5.1	Deformaciones máximas de la Estructura. ....	83
3.5.2	Longitud de Empotramiento. ....	84
3.5.3	Conicidad de los Postes. ....	84
3.5.4	Diámetros Utilizados. ....	84
3.5.5	Programa Midas Gen. ....	85
4.	CÁLCULO TIPO .....	86
4.1	INTRODUCCIÓN .....	86
4.2	CÁLCULO MECÁNICO.....	86
4.2.1	Datos de entrada.....	86
4.2.2	Cálculo mecánico de los conductores.....	87
4.2.3	Cálculo de aisladores. ....	93
4.2.4	Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre de las fases en hipótesis de extremo trabajo mecánico.....	94
4.2.5	Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre de las fases en hipótesis de operación diaria.....	95
4.2.6	Cálculo mecánico para los cables de guarda. ....	95
4.2.7	Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre del cable de guarda en hipótesis de extremo trabajo mecánico.....	100
4.2.8	Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre del cable de guarda en hipótesis de operación diaria.....	101
4.2.9	Ubicación del cable de guarda en estructura de retención y terminal. Si el voltaje de flameo de la cadena de aisladores es de 600 kV y la altura de la estructura es de 34 m. ....	101

4.2.10	Ubicación del cable de guarda en estructura de suspensión. ....	104
4.2.11	Longitud de la cruceta de guarda para tipo de estructura. ....	107
4.3	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	107
4.3.1	Datos de entrada datos. ....	107
4.3.2	Geometría general de la estructura. ....	108
4.3.3	Análisis de las condiciones de carga. ....	112
4.3.4	Análisis de las condiciones de carga eléctricas. ....	125
4.3.5	Diseño de elementos en concreto reforzado. ....	126
5.	DISEÑOS Y RESULTADOS .....	127
5.1	INTRODUCCIÓN .....	127
5.2	DISEÑOS .....	127
5.2.1	Estructura disposición vertical. Tipo de estructura diseñada para el nivel de tensión eléctrica de 34,5 kV, figura 5.4. ....	127
5.2.2	Estructura disposición triangular con cable de guarda. Tipo de estructura diseñada para el nivel de tensión eléctrica de 34,5 kV, figura 5.3. ....	127
5.2.3	Estructura disposición triangular con doble cable de guarda. Tipo de estructura diseñada para los niveles de tensión eléctrica de 115 y 230 kV, figura 5.1. ....	127
5.2.4	Estructura disposición doble circuito con doble cable de guarda. Tipo de estructura diseñada para los niveles de tensión eléctrica de 115 y 230 kV, figura 5.2. ....	127
5.3	ESTRUCTURAS TIPO.....	128
5.3.1	Estructura terminal disposición triangular y vertical a 34,5 kV.....	130
5.3.2	Estructura en suspensión disposición triangular y vertical a 34,5 kV. ....	130
5.3.3	Estructura en retención con disposición triangular y vertical a 34,5 kV.....	131
5.3.4	Estructura terminal con disposición triangular a 115 kV. ....	131
5.3.5	Estructura en suspensión con disposición triangular a 115 kV.....	131
5.3.6	Estructura en retención con disposición triangular a 115 kV.....	132
5.3.7	Estructura terminal con disposición doble circuito vertical a 115 kV. ....	133
5.3.8	Estructura en suspensión con disposición doble circuito vertical a 115 kV. ....	134
5.3.9	Estructura en retención con disposición doble circuito vertical a 115 kV. ....	134
5.3.10	Estructura terminal con disposición triangular a 230 kV. ....	135
5.3.11	Estructura en suspensión con disposición triangular para a 230 kV. ....	136
5.3.12	Estructura en retención con disposición triangular a 230 kV.....	137
5.3.13	Estructura terminal con disposición doble circuito vertical a 230 kV. ....	138
5.3.14	Estructura en suspensión con disposición doble circuito vertical a 230 kV. ....	139
5.3.15	Estructura en retención con disposición doble circuito vertical a 230 kV. ....	140
5.3.16	Crucetas. ....	142
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	144
6.1	GENERALIDADES.....	144
6.1.1	Introducción. Este capítulo analiza la viabilidad de implementar la construcción y utilización de las estructuras diseñadas en este proyecto. ....	144
6.1.2	Fase de preinversión.....	144
6.1.3	Idea. ....	144
6.1.4	Perfil del proyecto.....	145
6.1.5	Estudio de prefactibilidad.....	145
6.1.6	Estudio preliminar. ....	146
6.2	RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 230 kV TIPO TERMINAL.....	147

6.3	RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 230 kV TIPO RETENCIÓN.....	151
6.4	RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 230 kV TIPO SUSPENSIÓN .....	156
6.5	RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 115 kV TIPO TERMINAL.....	159
6.6	RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 115 KV TIPO RETENCIÓN .....	162
6.7	RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 115 KV TIPO SUSPENSIÓN.....	166
6.8	RESULTADOS ESTRUCTURAS DE 34,5 kV TIPO TRIANGULAR Y VERTICAL 169	
6.9	COSTOS DE TRANSPORTE Y MONTAJE .....	170
6.10	EJEMPLO .....	174
6.11	BENEFICIOS .....	177
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	178
	BIBLIOGRAFIA .....	180

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Fabricación de postes de concreto preesforzado (Pretecor Ltda) .....	27
Figura 1.2. Cargue de los postes en el momento de ser transportados.....	29
Figura 1.3. Distribución asumida de esfuerzos en el concreto .....	32
Figura 1.4. Determinación del área del anillo de concreto .....	33
Figura 1.5. Determinación de los esfuerzos en los torones.....	35
Figura 1.6. Determinación de la posición de los torones.....	36
Figura 1.7. Determinación del centroide de un anillo .....	38
Figura 1.8. Distribución de esfuerzos antes del agrietamiento.....	39
Figura 2.1 Esquema espacial de una estructura .....	59
Figura 3.1. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y la altura de la estructura sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito.....	72
Figura 3.2. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y la distancia horizontal entre la fases y el eje vertical de la estructura sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito .....	73
Figura 3.3. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y la distancia entre la cruceta de los cables de guarda y la cruceta adyacente de fases sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito.....	73
Figura 3.4. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y el diámetro nominal del conductor sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito .....	75
Figura 3.5. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y el numero de conductores por fase sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito .....	75
Figura 3.6. Espaciamiento de alambrones en una sección de tubo.....	83
Figura 4.1. Disposición de la estructura.....	108
Figura 4.2. Nodos y elementos estructurales modelados.....	109
Figura 4.3. Conformación real de los postes.....	111

Figura 4.4. Estado de carga para el momento de la transferencia del preesfuerzo.....	113
Figura 4.5. Diagramas de cortante y momento para el estado de carga .....	114
Figura 5.1. Estructura en concreto tipo triangular con doble cable de guarda y crucetas en concreto .....	128
Figura 5.2. Estructura en concreto tipo doble circuito vertical con doble cable de guarda y crucetas en concreto .....	128
Figura 5.3. Estructura en concreto tipo triangular con cable de guarda, crucetas en concreto y bayoneta metálica .....	129
Figura 5.4. Estructura en concreto tipo vertical con cable de guarda, crucetas en concreto y bayoneta metálica .....	129
Figura 6.1. Comportamiento del precio de estructuras metálicas vs. concreto, para la misma carga en la punta, estructura de 230 kV tipo terminal .....	150
Figura 6.2. Variación del precio de la estructura de concreto respecto a la cantidad de postes que la conforman, estructura de 230 kV tipo terminal .....	150
Figura 6.3. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto para cargas en la punta pequeñas, estructura de 230 kV tipo retención .....	155
Figura 6.4. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto para cargas en la punta muy pequeñas. Estructura de 230 kV tipo Retención .....	155
Figura 6.5. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. Metálicas, estructura de 230 kV tipo suspensión .....	158
Figura 6.6. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. metálicas, estructura de 115 kV tipo terminal .....	161
Figura 6.7. Rentabilidad que ofrece el uso de las estructuras de concreto de la gráfica 6.2.....	161
Figura 6.8. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. metálicas compuestas por dos (2) postes, estructura de 115 kV tipo suspensión.....	168
Figura 6.9. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. metálicas compuestas por tres (3) postes, estructura de 115 kV tipo suspensión.....	168
Figura 6.10 Comparación entre estructura de concreto y metálica de las mismas características.	174
Figura 6.11 Diagrama comparativo de precios .....	176
Figura 6.12 Grafica del comportamiento de precios para distinta altura de estructura .....	176

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.....	183
Anexo 2.....	185
Anexo 3.....	194
Anexo 4.....	205

## GLOSARIO

**Aislador:** elemento aislante diseñado de tal forma que soporte un conductor y lo separe eléctricamente de otros conductores.

**Apantallamiento:** cubrimiento eléctrico que hacen los cables de guarda a los equipos y/o conductores de fase.

**Capacidad nominal:** conjunto de características eléctricas y mecánicas asignadas a un equipo eléctrico por el diseñador, para definir su funcionamiento continuado bajo unas condiciones específicas.

**Carga de diseño:** carga aplicada a 20 cm de la cima, para la cual se calcula y diseña el poste.

**Carga de rotura:** carga que aplicada a 20 cm de la cima, produce el colapso estructural del poste por fluencia del acero, por aplastamiento del concreto o por ambas causas en forma simultánea.

**Carga de trabajo:** carga mínima real que se puede aplicar al poste, en sentido normal a su eje y a 20 cm de la cima, sin que se presente deformación permanente mayor que el 5 % de la deflexión máxima permitida. Debe ser igual al 40 % de la carga mínima de rotura.

**Centrifugado:** acción de someter a la fuerza centrífuga el poste recién vaciado, con el fin de producir una compactación alta en el concreto y gran resistencia a la humedad y a los agentes atmosféricos.

**Cima:** plano o sección transversal extrema, en la parte superior del poste.

**Concreto pretensado:** concreto de alta resistencia, sometido mediante cables tensionados, a grandes cargas de compresión que eliminan los esfuerzos de tensión y disminuyen las fisuras producidas por las cargas aplicadas.

**Concreto reforzado:** concreto que tiene un refuerzo constituido por varillas de acero, que trabajan principalmente a la tracción y que actúan en forma conjunta, con el fin de contrarrestar los momentos flectores producidos por las cargas actuantes.

**Concreto:** mezcla de cemento hidráulico, agregado fino (arena), agregado grueso (gravilla) y agua.

**CREG:** Comisión Reguladora de Energía y Gas.

**Curado del concreto:** tratamiento que se le da al concreto, una vez vaciado, para impedir la rápida evaporación del agua de amasado, suavizando la retracción y evitando el agrietamiento de la superficie del poste.

**Deformación permanente:** flecha permanente, registrada una vez ha dejado de actuar la carga de trabajo sobre el poste.

**Distancia de Seguridad:** es la mínima distancia entre una línea energizada y una zona donde se garantiza que no habrá un accidente por acercamiento.

**Estructura:** nombre genérico dado al dispositivo de soporte de conductores y aisladores de las líneas o redes aéreas. Pueden ser postes, torres u otro tipo de estructuras.

**Factor de seguridad:** razón entre el esfuerzo máximo permisible y el esfuerzo de trabajo de un componente.

**Fase:** designación de un conductor, un grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va a estar energizado durante el servicio normal.

**Fisura:** hendidura (quiebre o fractura) que se forma en el concreto reforzado y que tiene un ancho de hasta 1 mm en la superficie del concreto.

**Flecha:** distancia vertical máxima en un vano, entre el conductor y la línea recta que une los dos puntos de sujeción.

**Formaletas:** moldes metálicos, de la forma y dimensiones del poste, en los cuales se coloca la canasta y se vierte el concreto fresco para moldear el poste.

**Herrajería:** elementos utilizados para la fijación de los aisladores a la estructura y al conductor, los de fijación de cable de guarda a la estructura, los elementos de protección eléctrica y los accesorios del conductor, como separadores, amortiguadores, etc.

**Línea Eléctrica:** conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorios destinados al transporte de energía eléctrica.

**Línea Viva:** término aplicado a una línea con tensión o línea energizada.

**Longitud de empotramiento:** distancia entre la sección de empotramiento y la base del poste.

**Longitud total:** distancia entre la cima y la base del poste.

**Longitud útil:** distancia entre la cima y la sección de empotramiento del poste.

**NSR-98:** Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

**NTC:** Normas Técnicas Colombianas

**Perforaciones:** agujeros cilíndricos, a través del eje central de la sección del poste, utilizados para la fijación de elementos de la red.

**Plano de aplicación de esfuerzos:** plano o sección transversal del poste donde se aplican las cargas horizontales.

**Plano transversal:** plano o sección perpendicular al eje longitudinal del poste.

**Recubrimiento de la armadura:** distancia mínima especificada, que debe existir entre el borde o superficie de cualquier elemento metálico de la armadura y la superficie interior y exterior del poste.

**Refuerzo:** acero en varillas, alambre o cables, colocado para absorber esfuerzos de tensión, compresión, cortadura o torsión, en conjunto con el concreto.

**RETIE:** Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

**Riesgo de falla:** véase factor de seguridad.

**Sección de empotramiento:** plano o sección transversal del poste, a nivel de piso, donde se produce el máximo momento flector, por efecto de las cargas de trabajo.

**Temperatura coincidente:** también conocida como temperatura mínima promedio. Valor promedio de la serie de registros de temperatura mínima absoluta.

**Temperatura máxima promedio:** valor promedio de la serie de registros de temperatura máxima absoluta.

**Temperatura máxima:** es el valor que con una probabilidad del 2% (periodo de retorno de 50 años), puede ser excedido en un año. Se obtiene a partir de la serie de registros anuales de temperaturas máximas absolutas.

**Temperatura mínima:** valor de temperatura para la cual, en un período de un año, existe una probabilidad del 2% (período de retorno de 50 años), de que no se presenten temperaturas inferiores. Se obtiene a partir de la serie de registros anuales de temperaturas mínimas absolutas.

**Temperatura promedio:** valor promedio de la serie de registros de temperatura media anual.

**Tensión eléctrica nominal:** valor convencional de la tensión con el cual se designa un sistema, instalación o equipo y para el que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento. Para el caso de sistemas trifásicos, se considera como tal la tensión entre fases.

**Tensión eléctrica:** diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio; un error frecuente es hablar de “voltaje”.

**Vano máximo:** mayor vano que se puede construir en terreno llano, limitado por la altura del apoyo o distancia entre conductores.

**Vano peso:** distancia horizontal entre los puntos más bajos del conductor en dos vanos adyacentes.

**Vano regulador:** vano teórico de regulación que simula las variaciones de esfuerzos por cambio de temperatura y velocidad del viento y como lo hace el conjunto de vanos entre dos estructuras de retención consecutivas.

**Vano viento:** distancia horizontal sobre la cual se supone que actúa la fuerza del viento sobre los conductores en un apoyo. Se toma como la semisuma de los vanos adyacentes de una estructura.

**Vano:** distancia horizontal entre dos apoyos adyacentes de una línea o red.

**Velocidad de viento de diseño:** velocidad resultante de aplicar a la velocidad máxima de viento todas las correcciones por altura sobre el suelo y categoría del suelo.

**Velocidad de viento máximo promedio:** valor promedio de la serie de registros de velocidad máxima anual.

**Velocidad de viento promedio de diseño:** velocidad resultante de aplicar a la velocidad promedio de viento todas las correcciones por altura sobre el suelo y categoría del suelo.

**Velocidad máxima de viento:** también conocida como velocidad de viento básico, es la velocidad de ráfaga de 3 segundos, que se estima será excedida en promedio una vez cada 50 años, medida a 10 m de altura del terreno y en campo abierto.

**Velocidad promedio de viento:** valor promedio de la serie de registros de velocidad media anual.

**Vibrado:** sistema de compactación del concreto mediante aparatos vibratorios de alta frecuencia que tiene por objeto disminuir la porosidad del concreto, distribuir uniformemente los áridos y obligar a que la mezcla cubra toda la superficie interior de la formaleta.

## RESUMEN

**TITULO:** PROPUESTA DEL USO DE ESTRUCTURAS EN CONCRETO PRETENSADO EN LINEAS DE 230, 115 Y 34,5 KV\*

**AUTOR:**

WILTON HEBERTO GONZALEZ PARRA\*\*

**PALABRAS CLAVES:**

Concreto, líneas eléctricas, Matlab.

**DESCRIPCION:**

El proyecto pretende estudiar la viabilidad de construir estructuras en concreto como soporte a las líneas eléctricas de 230, 115 y 34,5 kV a base de concreto, para lo cual se analizará la viabilidad del uso y producción de dichas estructuras teniendo en cuenta la disponibilidad y capacidad de producción de la Empresa, la igualdad y mejoras en cuanto a las exigencias físicas, mecánicas y eléctricas que deben existir entre las estructuras existentes y las de concreto.

Las ventajas se clasifican desde los puntos de vista empresarial, institucional, tecnológico y humano. En lo empresarial permite que Pretecor Ltda abarque mercados que actualmente son atendidos por otras empresas. En lo institucional permite que estudiantes de la Universidad mediante su proyecto de grado continúen con la ejecución total del programa adelantado por Pretecor Ltda. En lo tecnológico, ya que se da inicio a la construcción de nuevas estructuras que satisfacen requisitos mecánicos, físicos, eléctricos y económicos. En lo humano, ya que requiere la generación de nuevos empleos.

El proyecto consta de 7 capítulos de los cuales el primero y el segundo corresponden a la parte teórica civil y eléctrica utilizada en el proyecto respectivamente, el tercer capítulo permite conocer los criterios de diseño empleados, consideraciones de tipo ambiental, constructivo y de selección de materiales.

Cálculo tipo, muestra el método empleado para la realización de los cálculos de los diseños, optimizado mediante un programa elaborado en la plataforma de MATLAB. El quinto capítulo, Diseños y resultados, allí están contemplados los diseños y sus especificaciones mecánicas y físicas.

El sexto capítulo hace referencia al impacto económico que tiene la estructura de concreto en el mercado, analizando las ventajas y desventajas económicas en comparación con algunas estructuras ya existentes.

Al final están recopiladas todas las conclusiones y referencias empleadas para la ejecución de este proyecto.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil, Director:  
CRUZ HERNÁNDEZ, Ricardo

## ABSTRACT

**TITLE:** OFFER OF THE USE OF STRUCTURES IN CONCRETE PRESTRESSED IN LINES GIVES 230, 115 and 34,5 KV.

**AUTHOR:**  
WILTON HEBERTO GONZALEZ PARRA

**KEYWORDS:**  
Concrete, Electrical Lines, Matlab.

**DESCRIPTION:**  
This Project is expected to study the viability of building structures in concrete as support for concrete-made electrical lines of 230, 115 and 34, 5 kV; reason why it will be analyzed the viability of the use and production of such structures taking into account the viability and ability of the company's production, the equality and improvements in the physical, mechanic, and electrical demands that must exist between the existent structures and the concrete ones.

The advantages are classified from the business, institutional, technological and human points of view. In the business field, it allows Pretecor Ltda. to cover markets that are currently attended by other companies. In the institutional field, it allows university students to continue with the total execution of the program carried out by Pretecor Ltda. with their project degrees. In the technological field, its importance constitutes the possibility to construct new structures that satisfy physical, mechanic, electrical and economic requirements. In the human field, because it requires the generation of new employments.

The project consists of seven chapters, from which the first and the second one concern to the electrical and theoretical civil part used in the project respectively; the third chapter allows to know the design criteria that was used, environmental, constructive and of material selection remarks.

Calculus type shows the method used for the design calculation carrying out, improved by means of a program elaborated in the MATLAB platform. In the fifth chapter, Designs and results, are stated the designs and its mechanic and physical specifications.

The sixth chapter is about the economical impact of the concrete structure in the market, analyzing the economic advantages and disadvantages in comparison with some existent structures.

At the end are compiled all the conclusions and references used for the project execution.

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineerings, School of Civil Engineering, Director:  
CRUZ HERNÁNDEZ, Ricardo

## INTRODUCCIÓN

Las empresas especializadas en el diseño y montaje de líneas aéreas de transmisión y distribución de energía eléctrica enfocan sus estudios en la optimización y disminución de costos a la hora de ejecutar proyectos vinculados con su objeto social. En pro de favorecer a dichas empresas y ofrecer nuevas alternativas Pretecor Ltda, empresa constructora de estructuras en concreto para líneas y redes de distribución de energía eléctrica, inicia un programa el cual tiene como fase preliminar el presente proyecto y cuyo objetivo final es la captación y ampliación de suministros en el mercado de estructuras para líneas eléctricas de 230, 115 y 34,5 kV a base de concreto.

El presente proyecto pretende estudiar la viabilidad de construir estructuras en concreto como soporte a las líneas eléctricas anteriormente mencionadas, para lo cual se analizará si es o no relevante el uso y producción de dichas estructuras teniendo en cuenta variables tales como la disponibilidad y capacidad de manufacturación de la misma Empresa, la igualdad y mejoras en cuanto a las exigencias físicas, mecánicas y eléctricas que deben existir entre las estructuras existentes y las de concreto, además de la disponibilidad para acceder geográficamente al punto de ubicación de la estructura.

El objetivo general de este trabajo de grado es proponer el uso de estructuras en concreto pretensado en líneas eléctricas de 230, 115 y 34,5 kV, cuyas especificaciones físicas, mecánicas y eléctricas sean adoptadas en estudios de diseño y/o reestructuración de líneas eléctricas. El logro de este objetivo general implica el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Crear una base de datos donde se pueda acceder a las características físicas, mecánicas y eléctricas de los tipos de estructuras calculadas y diseñadas con base a condiciones requeridas.
- Estandarizar prototipos de estructuras que sean factibles de construir por Pretecor Ltda.
- Cuantificar costos de producción y cualificar especificaciones técnicas de las estructuras diseñadas y estandarizadas.

El desarrollo del proyecto radica en una fusión entre los conocimientos empíricos y teóricos, enfocados en su mayoría a los cálculos mecánicos y determinación de las tensiones mecánicas a las que están sometidos todos y cada uno de los elementos básicos que hacen parte de una línea aérea de transmisión y/o distribución de energía eléctrica y concurren en las estructuras. Conocimientos empíricos ofrecidos gracias a entidades y personas vinculadas indirectamente al proyecto, los cuales junto a la aplicación de las normas nacionales e internacionales vigentes y a la teoría vinculada a la materia, hacen del proyecto un complemento cabal.

Las ventajas que ofrece este proyecto se pueden clasificar desde los puntos de vista empresarial, institucional, tecnológico y humano. En lo empresarial permite que Pretecor Ltda abra espacios en mercados que actualmente son atendidos por otras empresas, logrando con esto una ampliación en su infraestructura y permitiendo construir más estructuras de este tipo sin restricción alguna de producción. En lo institucional permite que estudiantes interesados de últimos semestres de la Universidad Industrial de Santander mediante sus proyectos de grado continúen con la participación en la ejecución total del programa adelantado por Pretecor Ltda. En lo tecnológico, ya que se da pauta al inicio de la construcción de nuevas estructuras que satisfacen múltiples necesidades mecánicas, físicas, eléctricas y económicas. En lo humano, ya que forma parte de un proceso de expansión adelantado por Pretecor Ltda el cual requiere de nuevo material humano, o dicho en otras palabras, la generación de nuevos empleos a futuro.

La limitación del proyecto surge de la capacidad actual que tiene la Empresa para construir estructuras de tal envergadura. Debido a esto, fue difícil implementar algunas estructuras que satisficieran las situaciones actuales del mercado, las disposiciones y condiciones desde punto de vista eléctrico y constructivo, junto a la complejidad de lograr una simplicidad en los diseños.

El proyecto está dividido en 7 capítulos de los cuales el primero y el segundo corresponden a la parte teórica civil y eléctrica utilizada en el proyecto respectivamente, allí se contempla toda la base conceptual del concreto pretensado y se da a conocer la experiencia de la Empresa en la fabricación de estructuras de este tipo. En cuanto a la teoría eléctrica esta contempla en forma global y compacta los métodos y modelos utilizados como cálculo en los diseños además de la naturaleza de los elementos que forman parte integral de una línea de eléctrica aérea.

El tercer capítulo permite conocer los criterios de diseño empleados durante la ejecución del proyecto, consideraciones de tipo ambiental, constructivo y de selección de materiales que influyen directamente en el fin último de diseñar estructuras con valores de carga considerablemente críticos, que han de ser generados durante el proceso eléctrico del proyecto y formará parte inicial del proceso civil del mismo. Criterios desde el punto de vista de diseño civil que determinan la forma y resistencia mecánica de las estructuras.

Cálculo tipo, es el cuarto capítulo y muestra todo el proceso metódico empleado para la realización de los cálculos en cada uno de los diseños, optimizado mediante un programa elaborado en la plataforma de MATLAB siendo un valor agregado para el proyecto.

Diseños y resultados obtenidos es la núcleo del quinto capítulo, allí están contemplados los diseños y sus especificaciones mecánicas y físicas. Estructuras finales y estandarizadas después de una serie de análisis y contemplaciones eléctricas, mecánicas, constructivas y estéticas.

El sexto capítulo hace referencia al impacto económico que tiene la estructura de concreto en el mercado, analizando las ventajas y desventajas económicas en comparación con algunas estructuras ya existentes a base de acero, a esto se le suma la ventaja estética que se obtiene en una línea eléctrica con la implementación de estructuras a base de concreto, dando una falsa apariencia intrascendente al sistema pero al mismo tiempo sólida.

Al final están recopiladas todas las conclusiones y referencias empleadas para la ejecución del proyecto en los capítulos sexto y séptimo respectivamente.

## 1. ASPECTOS TEÓRICOS DEL CONCRETO PRETENSADO

### 1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se enuncia los antecedentes que condujeron a la utilización del concreto pretensado como método constructivo para la consecución de las estructuras resultantes en el presente proyecto.

### 1.2 ANTECEDENTES

**1.2.1 Concreto preesforzado.** El concreto preesforzado puede definirse en términos generales como el precomprimido de un elemento estructural, antes que comience su vida útil, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general.

En esencia, el concreto es un material que trabaja a compresión. Su resistencia a la tensión es mucho más baja que la resistencia a compresión, y en muchos casos, dependiendo del elemento, al diseñar se evita que se presenten esfuerzos a tensión, debido a que estos fisuran la sección y ocasionan problemas de corrosión en el acero de refuerzo. Por tanto, el preesforzado del concreto implica la aplicación de una carga compresiva, previa a la aplicación de las cargas de diseño, en forma tal que se reduzcan o eliminen los esfuerzos de tensión que de otra forma ocurrirían.

Según el instante en que se impone el esfuerzo inicial, el preesfuerzo se divide en dos tipos fundamentales:

**Pretensado.** El acero es tensado previamente al colado del concreto en el molde. Para ello los extremos del acero se fijan en extremos de un banco de colado, mediante elementos de anclaje. Cuando el hormigón ha alcanzado una resistencia suficiente los esfuerzos de tensión del refuerzo activo se transmiten al hormigón por adherencia.

**Postensado.** El acero es tensado luego del endurecimiento del concreto. Los cables son colocados en su posición teórica en vainas o huecos dentro de los cuales pueden ser tensados, apoyándose contra las vigas fraguadas. Este método se presta a trazados curvos de los cables, que permiten la optimización del comportamiento de los elementos.

**1.2.2 Concreto pretensado.** Esta muy vinculado con la prefabricación, pues puede usarse para producir elementos iguales, consecutivos a lo largo de bancos de tensado de gran longitud.

El método de banco longitudinal para prefabricación en serie de elementos iguales es muy efectivo. En bancos de gran longitud pueden disponerse anclajes intermedios cuando se debe producir en poca cantidad para evitar el desperdicio de acero tensado.

Se utilizan como tensores alambres, cables o trenzas de pequeño diámetro y alta resistencia. El tensado se puede hacer en conjunto desplazando todos los cables o por cable individual.

Debido a la libertad de desplazamiento de los cables, interesa fundamentalmente medir la fuerza aplicada, sin control de elongaciones.

Cuando se han tensado todos los cables se completa el resto de la armadura, se disponen de los moldes y se procede al vaciado de las unidades sucesivas a producir, con un molde total o desplazando sectores de él.

Como los tensores se unen al hormigón por adherencia, debe cuidarse la condición superficial del acero, eliminando aceites, grasas, etc.

El vibrado es imprescindible para obtener hormigones de alta resistencia con el empleo de la menor cantidad de agua posible. Los vibradores pueden ser de inmersión o aplicados exteriormente a los moldes. Los de inmersión exigen un correcto manejo pues pueden producir vacíos alrededor de los cables, pero los exteriores requieren moldes más rígidos y pesados.

El curado debe, en lo posible, acelerarse para aumentar la velocidad de rotación en el empleo de moldes y banco de tensado, para ello el empleo de vapor es uno de los procedimientos más comunes, creando un recinto con el uso de cubiertas apropiadas.

La implantación del esfuerzo de compresión al concreto puede hacerse por corte brusco de los cables, o recurriendo a gatos que transfieran la carga en forma gradual y lenta.

Cuando las circunstancias lo exigen, también el pretensado puede realizarse con un molde autoportante de longitud igual al elemento.

**1.2.3 Elementos de concreto fabricados en planta.** Los elementos fabricados en planta o elementos prefabricados, presentan una serie de ventajas sobre la construcción tradicional como son:

- Se requiere de menos cantidad de mano de obra por cada unidad, y es posible emplear la mano de obra local no especializada, la cual es más barata que la mano de obra especializada.
- Los concretos de gran calidad y alta resistencia son fáciles de obtener.
- Mayor economía en el consumo de materiales auxiliares como encofrados y revestimientos.
- Las formas complicadas de las secciones transversales se vuelven económicamente factibles con el empleo repetitivo de formaletas metálicas o de fibra de vidrio.
- La obra puede transcurrir con mayor independencia del clima.
- Normalización, es decir, la posibilidad de elementos repetibles en gran serie, automatización en la fabricación y control de calidad.
- Reducción del tiempo de ejecución por la casi independencia de cada fase ejecutiva respecto a las obras (encofrado, armado, colado, etc.), lo que permite la simultaneidad de las tareas.
- La duración de la construcción 'in situ' se reduce debido a la prefabricación de las partes, lo cual es una consideración de importancia en lugares congestionados.

Se debe tener en cuenta que la construcción de estructuras prefabricadas puede tener problemas específicos que deben ser solucionados o si no la construcción prefabricada no será factible:

- La naturaleza de la estructura no permite su prefabricación.

- La división de la estructura en elementos a transportar hasta el sitio de emplazamiento puede no ser factible.
- Los componentes estructurales pueden ser de proporciones no económicas.
- El movimiento de la pieza y el desmolde pueden generar esfuerzos que gobiernan el dimensionamiento y este ser exagerados respecto a las cargas específicas actuantes.
- El equipo de montaje requerido puede resultar de demasiada importancia para la obra en cuestión.
- Difícil acceso al lugar.

**1.2.4 Método de fabricación de postes de concreto pretensado.** Un elemento de concreto estructural pretensado que ha sido ampliamente fabricado en el país es el poste de concreto pretensado. Esta tecnología se instaló en Bucaramanga por lo menos hace 25 años, en Pretecor Ltda. Desde esa época la tecnología ha ido desarrollándose y perfeccionando cada vez más y es una buena escuela para tratar de desarrollar un método para fabricar cualquier otra estructura prefabricada y pretensada.

El método básicamente consiste en prefabricar los postes con ayuda de formaleta metálica autoportante que resiste las cargas de los cables tensores hasta que el concreto se endurece.

La mezcla de concreto es fabricada en planta y es dosificada por peso, según estadísticas fácilmente se alcanzan resistencias alrededor de los 455 kg/cm<sup>2</sup>.

La tensión se hace por medio de torones o trenzas con resistencia a la fluencia de 13500 kg/cm<sup>2</sup>.

Se usa el método de curado acelerado con vapor para aumentar el rendimiento de la formaleta. Con este método se desencofra un molde cada tres horas.

Figura 1.1. Fabricación de postes de concreto preesforzado (Pretecor Ltda)



### 1.3 MODELO ESTRUCTURAL

**1.3.1 Materiales.** Las estructuras para líneas de transmisión de energía eléctrica, deben estar en capacidad de resistir las cargas a las que se verán sometida durante su construcción, cargue, transporte, instalación y uso, estas serán diseñadas en concreto pretensado. Los componentes de este modelo estructural son:

**Concreto.** La resistencia mínima de diseño de las estructuras hechas con concreto pretensado será de  $455 \text{ kg/cm}^2$ , concreto que es fácilmente producido en planta.

La utilización de concretos de alta resistencia es muy importante para este tipo de estructuras, debido a que se protegen el refuerzo de ambientes adversos o contaminados que inducen deterioros acelerados del mismo.

**Refuerzo y pretensado.** El refuerzo longitudinal del elemento está constituido por torones de baja relajación en acero de alto carbono con grado 250Ksi y diámetros de 5/16" (pulgadas). La resistencia a la rotura de este acero es de 17500 kg/cm<sup>2</sup> y su resistencia a la fluencia es de 13500 kg/cm<sup>2</sup>. Este torón es fabricado en Colombia por Emcocables y es de fácil adquisición en el medio. [Véase fuente bibliográfica]

El refuerzo transversal propuesto es una espiral de alambre calibre 13. Tiene una resistencia de 4900 kg/cm<sup>2</sup> la cual deberá absorber los esfuerzos de corte y torsión.

El refuerzo longitudinal es pretensado lo que garantiza que la estructura estará sometida a cargas previas de compresión asegurando una mayor resistencia a la formación de grietas e incrementando adicionalmente, la impermeabilidad y elasticidad del concreto; así como, la resistencia a torsión y tracción diagonal.

**1.3.2 Cargas de trabajo.** Aunque es realmente difícil establecer con total certeza las cargas a las que se verán sometidas las estructuras durante su "tiempo de vida", es posible suponer algunos estados teóricos de carga que se adapten a las condiciones reales de funcionamiento.

Las estructuras pretensadas se verán sometida a diferentes estados de carga en las diferentes fases que van desde la construcción hasta su instalación y uso. Durante su construcción la estructura se verá sometida a un preesfuerzo inicial inmediatamente después de la transferencia. Los esfuerzos en el concreto no serán constantes puesto que los postes, (principales constituyentes de las estructuras), poseen sección variada debido sus conicidad tanto exterior como interior permitiendo de esta manera poder soportar de mejor manera los esfuerzos a los que se verán sometidos en toda su longitud, estos esfuerzos iniciales son iguales a la fuerza total de preesfuerzo sobre el área total de concreto en las diferentes secciones del poste. Este esfuerzo no debe sobrepasar el valor permisible de  $0,6 \cdot f'_{ci}$  dado por la norma sismo resistente la *NSR-98* c.18.4. Para un método constructivo como el propuesto, a base de concreto bajo curado acelerado con vapor, la transferencia del preesfuerzo se hace a las 3 horas de haberse fundido el concreto cuando este tiene aproximadamente una resistencia del 65% de la resistencia final.

El traslado de los postes ya sea a su sitio de almacenamiento o al camión de cargue o en el descargue se hará tomando el poste de los dos cuartos de longitud exteriores. Lo anterior para evitar que se presenten sobre-esfuerzos que controlen el dimensionamiento del elemento, y que a la postre generen sobre costos totales en la estructura.

Figura 1.2. Cargue de los postes en el momento de ser transportados



Al instalar las estructuras las juntas de los postes se deben colocar sobre un elemento rígido que permita la fácil unión de cada una de las partes de los postes para conseguir la longitud total que debe tener el elemento, en este caso cada una de las partes de los postes se comportan como una viga simplemente apoyada, generando el momento dado por la siguiente ecuación:

$$M = \frac{wL^2}{8} \quad (1.1)$$

Donde:

$M$  es el momento flector de la sección en el centro de luz del elemento, en kg·m.

$w$  es el peso distribuido en la longitud total del elemento, en kg/m.

$L$  es la longitud total del elemento, en m.

Al instante de la izada de la unión total cada una de las partes del poste se genera un momento de flexión producido por su propio peso, dependiente del grado de inclinación y de los puntos donde se le aplique la fuerza para tal fin, en este caso se debe tener extremo cuidado de no exceder la resistencia del elemento, y suministrar lo suficientes puntos de apoyo para que no e sobrepasen los limites de la estructura. La siguiente es la ecuación del momento utilizada para este estado de carga:

$$M = \frac{w * \cos \alpha * L^2}{8} \quad (1.2)$$

Donde:

$M$  es el momento flector de la sección en el centro de luz del elemento, en kg·m.

$w$  es el peso distribuido en la longitud total del elemento, en kg/m.

$L$  es la longitud total del elemento, en m.

$\alpha$  es el ángulo de inclinación de la estructura en el instante de análisis.

Las condiciones de servicio eléctricas dependen de los niveles de tensión que se manejen para cada estructura en particular y por lo tanto se describen en el capítulo 2 del presente documento, por otra parte también estará consignado el régimen de cargas (anormal y normal), en fin todo en cuanto a criterios eléctricos y mecánicos que se tendrán en cuenta para el desarrollo de este trabajo de grado.

**1.3.3 Descripción de la estructura.** Las estructuras están compuestas por postes en concreto preesforzado, crucetas y anillos de rigidez (Riostras) en concreto reforzado y en algunos casos por elementos metálicos.

Los postes obtenidos por ser elementos tan largos están compuestos por secciones de menor longitud, que permiten el fácil manejo dentro de la planta y el transporte de las mismas; en vista que la reglamentación para el transporte de carga larga esta limitada por la longitud del trailer de la mula, las longitudes máximas de transporte sin necesidad de recaer en sobre costos por exigencias adicionales del instituto de transito y transporte es en promedio de 14 m, y el peso máximo que se recomienda para el transporte interno de los elementos en la planta es de 10 Ton. Cada uno de estos elementos se unirán por medio de bridas las cuales deben estar en condición de soportar las condiciones anteriormente descritas, además deben estar lo suficientemente protegidas para evitar los problemas de corrosión a los que puedan verse afrontadas en su tiempo de servicio.

**1.3.4 Capacidad de momento última de la estructura.** Después del pretensionamiento, tanto los torones de pretensado como el concreto se comportan como una estructura adherida. La capacidad de momento última en las diferentes secciones del poste es una función de las deformaciones de los torones y del concreto así como de los esfuerzos efectivos en el acero de preesfuerzo y en el pasivo.

Para el estado de cargas ultimas, la estructura pretensada fallará de una de las siguientes formas:

- Rotura del acero: el poste de concreto puede tener una o más secciones que contienen un bajo porcentaje de torones, es decir, secciones sub-reforzadas. En donde la resistencia última del torón es obtenida antes de que el concreto haya alcanzado un estado altamente plástico.
- Aplastamiento del concreto: los postes podrían tener una o más secciones que contengan un alto porcentaje de refuerzo, es decir, secciones sobre-reforzadas. En estas secciones los esfuerzos en el refuerzo no exceden el punto de fluencia y la falla resulta debido al aplastamiento del concreto.
- Falla tanto del acero como del concreto: algunas secciones pueden mostrar un comportamiento balanceado de los dos materiales. Los torones serán esforzados hasta el rango plástico y el concreto alcanza su deformación máxima. Fallando los dos materiales al tiempo.

## **1.4 CONSIDERACIONES BÁSICAS**

Las siguientes suposiciones son hechas para calcular la capacidad última de momento en los postes pretensados:

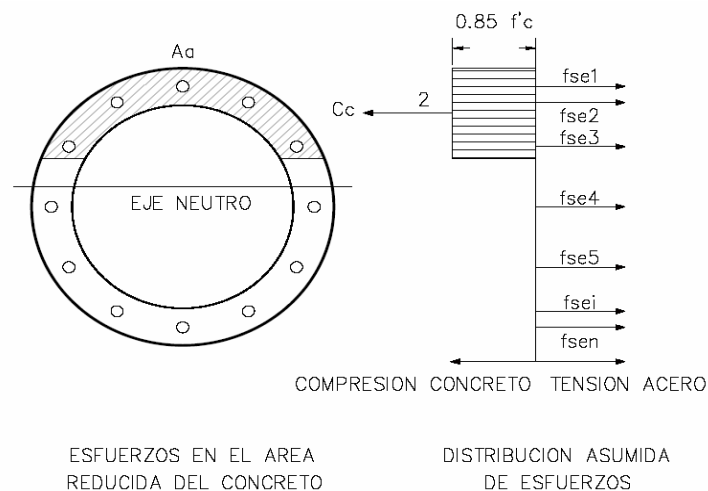
- Las secciones planas permanecen planas.
- Los torones y el concreto están completamente adheridos.
- El acero y el concreto están considerados en los rangos elástico y plástico.
- El esfuerzo máximo en el acero es el esfuerzo a fluencia, que para este estudio es considerado como  $13500 \text{ kg/cm}^2$ .

- El esfuerzo de falla del concreto es de  $0,85 \cdot f'_c$ .
- La resistencia a la tensión del concreto es considerada nula en los cálculos de flexión.
- La deformación unitaria última del concreto es 0,003.
- La deformación unitaria última de diseño del alambren es 0,012.
- La sección está sujeta a flexión pura.

Aunque las primeras dos suposiciones llegan a ser de alguna manera menos válidas después de que la sección se ha agrietado, el comportamiento general del miembro puede predecirse aún con bastante exactitud.

**Equilibrio de la sección.** Basados en las suposiciones anteriores y en la provisiones del código ACI, se asume una distribución rectangular de esfuerzos de compresión en el concreto y es representado por una fuerza concentrada estáticamente equivalente que está definida por la resistencia  $f'_c$ , véase figura 1.3. Ya que los torones y el concreto interactúan mecánicamente, el equilibrio de la sección requiere fuerzas iguales tanto en los torones como en el concreto. Basado en [Journal of the Precast/Prestressed Concrete Institute "PCI" V.42, No 6, Noviembre - Diciembre 1997]

Figura 1.3. Distribución asumida de esfuerzos en el concreto



La ecuación 1.3 es considerada como la ecuación de equilibrio.

$$C_c = T_s \quad (1.3)$$

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot A_a \quad (1.4)$$

Donde:

$T_s$  es la tensión del acero, en kg.

$C_c$  es la compresión del concreto, en kg.

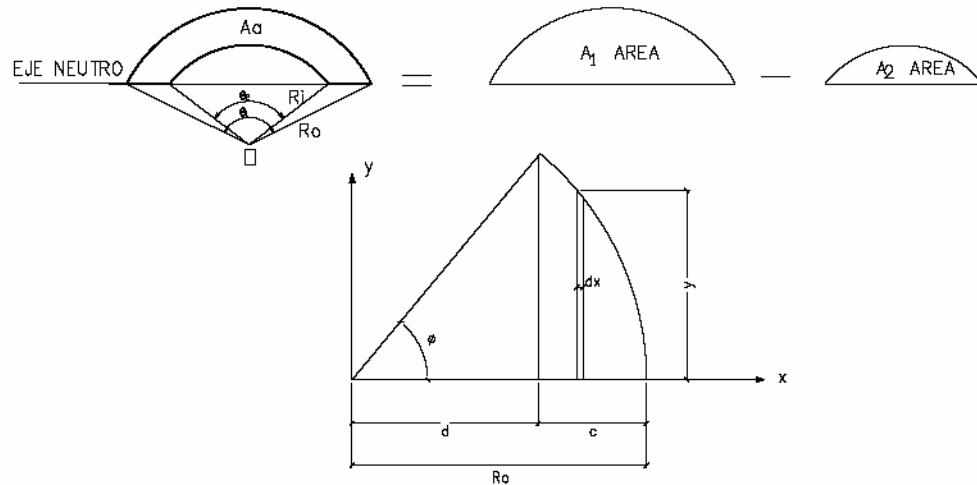
$A_a$  es el área reducida del concreto, en  $\text{cm}^2$ .

$f'_c$  es el esfuerzo último a compresión de l concreto, en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$\beta_1$  es la constante de reducción igual a 0,75 para concreto de  $455 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , según la NSR-98.

El cálculo del área a compresión del anillo  $A_a$  se hace de la forma que sigue, véase figura 1.4.

Figura 1.4. Determinación del área del anillo de concreto



- Cálculo de  $A_1$ .

Considerando  $S$  como la mitad del área  $A_1$

$$R_o^2 = x^2 + y^2 \quad (1.5)$$

$$y = \sqrt{R_o^2 - x^2} \quad (1.6)$$

$$S = \int_d^{R_o} dA = \int_d^{R_o} y dx = \int_d^{R_o} \sqrt{R_o^2 - x^2} dx \quad (1.7)$$

$$x = R_o \cos \phi \quad (1.8)$$

$$dx = -R_o \text{sen} \phi d\phi \quad (1.9)$$

$$S = \int_{\phi}^0 \sqrt{R_o^2 - R_o^2 \cos^2 \phi} (-R_o \text{sen} \phi d\phi) \quad (1.10)$$

$$S = \int_{\phi}^0 -R_o^2 \text{sen}^2 \phi d\phi \quad (1.11)$$

$$A = -R_o^2 \left[ \frac{\phi}{2} - \text{sen}^2 \phi \right] \quad (1.12)$$

$$A_1 = \frac{R_o^2}{2} (\theta_1 - \text{sen} \theta_1) \quad (1.13)$$

$$\theta_1 = 2\phi \quad (1.14)$$

$$\frac{\theta_1}{2} = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{R_o^2 - y^2}}{y} \right) \quad (1.15)$$

- Cálculo del área  $A_2$ .

De la misma forma como se calcula  $A_1$  se obtiene  $A_2$ .

$$A_2 = \frac{R_i^2}{2} (\theta_2 - \text{sen} \theta_2) \quad (1.16)$$

$$\frac{\theta_2}{2} = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{R_i^2 - y^2}}{y} \right) \quad (1.17)$$

- Cálculo del área  $A_a$ .

$$A_a = A_1 - A_2 \quad (1.18)$$

La tensión en el acero se calcula mediante el uso de la ecuación 1.19.

$$Ts = \sum_{i=1}^n A_{ps_i} f_{se_i} + \sum_{j=1}^n A_{s_j} f_{s_j} \quad (1.19)$$

Donde:

$A_{ps_i}$  es el área del refuerzo preesforzado del  $i$ -ésimo torón, en  $\text{cm}^2$ .

$f_{se_i}$  es el esfuerzo del refuerzo preesforzado del  $i$ -ésimo torón, en  $\text{kg/cm}^2$ .

$A_{s_j}$  es el área en los torones pasivos del  $j$ -ésimo torón, en  $\text{cm}^2$ .

$f_{s_j}$  es el esfuerzo en los torones pasivos del  $j$ -ésimo torón, en  $\text{kg/cm}^2$ .

Para calcular  $f_{se}$ , véase figura 1.5; se calcula la deformación unitaria última del torón, la cual se divide en tres cantidades.

- Deformación del torón debida al preesfuerzo efectivo  $\epsilon_{se}$ .

$$\epsilon_{se} = \frac{\text{Preesfuerzo efectivo del torón}}{\text{Área del torón} \cdot \text{Módulo de elasticidad del torón}} \quad (1.20)$$

- Deformación del concreto a nivel del torón debido al preesfuerzo efectivo.

$$\epsilon_{ce} = \frac{\text{Preesfuerzo efectivo total de los torones}}{\text{Área total del concreto} \cdot \text{Módulo de elasticidad del concreto}} \quad (1.21)$$

- Deformación del torón debida a la flexión.

$$\epsilon_{sb} = \frac{\epsilon_u(d-c)}{c} \quad (1.22)$$

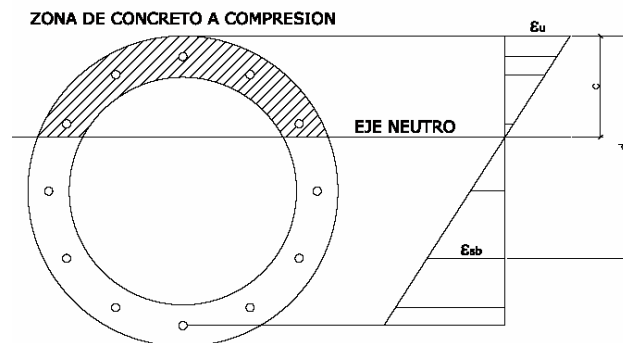
Donde:

$\epsilon_u$  es la deformación última del concreto, igual a 0,003, según la *NSR-98*.

$c$  es la localización del eje neutro, en cm.

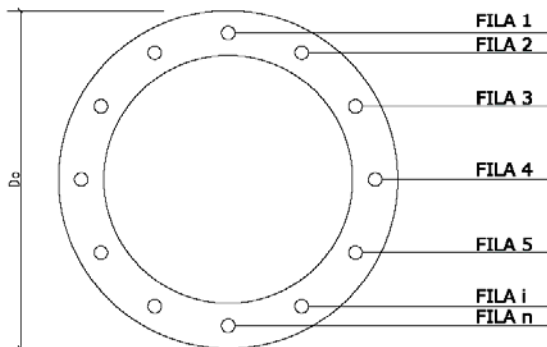
$d$  es la distancia entre el torón y el lado extremo a compresión, en cm.

Figura 1.5. Determinación de los esfuerzos en los torones.



El cálculo de la distancia entre el torón y el lado extremo a compresión se desarrolla según lo planteado en las ecuaciones 1.23, 1.24 y 1.25, véase figura 1.6.

Figura 1.6. Determinación de la posición de los torones



- Primera fila

$$d_1 = \text{Recubrimiento} \quad (1.23)$$

- Última fila

$$d_n = D_o - \text{Recubrimiento} \quad (1.24)$$

- Filas intermedias

$$d_2 \dots d_{n-1} = \frac{D_o}{2} - \left( \frac{D_o}{2} - \text{Recubrimiento} \right) \cdot \cos \left( \frac{(r-1) \cdot 2\pi}{N} \right) \quad (1.25)$$

Donde:

$d_1$  es la distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del primer torón, en cm.

$d_n$  es la distancia desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del último torón, en cm.

$d_2 \dots d_{n-1}$  es la distancia desde la fibra extrema a compresión a la segunda fila, ..., a la penúltima fila, en cm.

$D_o$  es el diámetro exterior de la sección, en cm.

$N$  es el número total de torones (un torón para la primera y la última fila, y dos torones por cada fila intermedia).

$r$  es igual al número de la fila de ubicación del torón.

La cantidad es positiva en la zona en que el concreto trabaja a tensión y negativa en la zona en que concreto esta a compresión.

$$\varepsilon_{su} = \varepsilon_{se} + \varepsilon_{ce} \pm \varepsilon_{sb} \quad (1.26)$$

Donde:

$\varepsilon_{su}$  es la deformación unitaria última.

$\varepsilon_{se}$  es la deformación del torón debida al preesfuerzo efectivo.

$\varepsilon_{ce}$  es la deformación del concreto a nivel del torón debido al preesfuerzo efectivo.

$\varepsilon_{sb}$  es la deformación del torón debida a la flexión.

Con este valor se procede a calcular el esfuerzo del torón para la posición  $i$ -ésima:

$$f_{se_i} = \varepsilon_{su_i} \cdot \text{Módulo de elasticidad del refuerzo} \quad (1.27)$$

Donde:

$f_{se_i}$  es el esfuerzo del refuerzo preesforzado del  $i$ -ésimo torón, en  $\text{kg/cm}^2$ .

$\varepsilon_{su_i}$  es la deformación unitaria del  $i$ -ésimo torón.

El área de concreto que produce el equilibrio de la ecuación 1.3 es reducida por un factor menor o igual a 0,85.

**Capacidad de momento último.** Las curvas de esfuerzo y deformación del torón y del concreto son usadas racionalmente para calcular la capacidad de momento última la cual esta dada como la suma del concreto y del acero con respecto al eje neutro.

$$M_u = \sum_{i=1}^n e_i A_{psi} f_{sei} + \sum_{j=1}^n e_j A_{sj} f_{sj} + C_c (c - K_2 c) \quad (1.28)$$

$$e_{i,j} = d_{i,j} - c \quad (1.29)$$

Donde:

$e_{i,j}$  es la distancia del  $i$ -ésimo torón al eje neutro, en cm.

$e_i$  es la distancia del  $i$ -ésimo torón pretensado al eje neutro, en cm.

$e_j$  es la distancia del  $i$ -ésimo torón no pretensado al eje neutro, en cm.

$A_{psi}$  es el área del refuerzo preesforzado, en  $\text{cm}^2$ .

$f_{sei}$  es el esfuerzo del refuerzo preesforzado, en  $\text{kg/cm}^2$ .

$A_{sj}$  es el área en los torones pasivos, en  $\text{cm}^2$ .

$f_{si}$  es el esfuerzo en los torones pasivos, en  $\text{kg/cm}^2$ .

$c$  es la ubicación del eje neutro de la sección fisurada, en  $\text{cm}$ .

$K_2c$  es la posición del centroide del área a compresión de concreto reducida. Esta área de compresión tiene forma de un sector de anillo. El centroide de un anillo es el punto de intersección de dos ejes que colocan al cuerpo en equilibrio. El eje 1 bisecta el área del anillo y el eje 2 divide los anillos en 2 áreas iguales. Véase figura 1.7.

**Determinación del eje neutro de la sección a compresión.** El área ubicada encima del eje 2 está determinada por la ecuación 1.30.

$$A_2 = \frac{R_o^2}{2} (\theta_3 - \text{sen}\theta_3) - \frac{R_i^2}{2} (\theta_4 - \text{sen}\theta_4) \quad (1.30)$$

$$\frac{\theta_3}{2} = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{R_o^2 - x^2}}{x} \right) \quad (1.31)$$

$$\frac{\theta_4}{2} = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{R_i^2 - x^2}}{x} \right) \quad (1.32)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} A_a \quad (1.33)$$

Figura 1.7. Determinación del centroide de un anillo

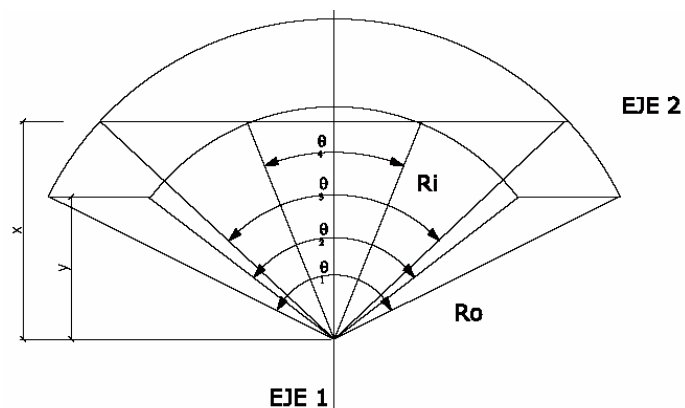
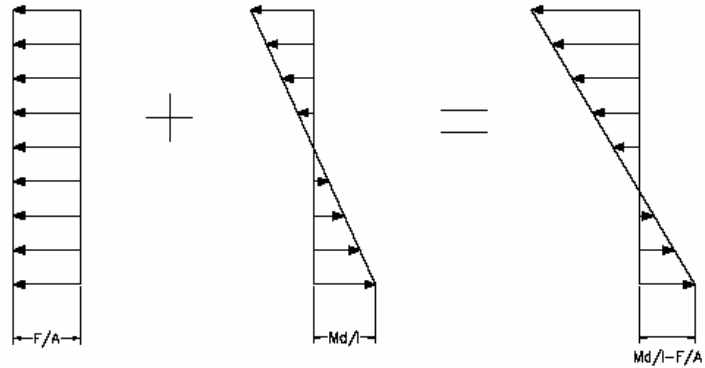


Figura 1.8. Distribución de esfuerzos antes del agrietamiento



## 1.5 MOMENTO DE AGRIETAMIENTO

El preesfuerzo es agregado para contrarrestar la carga aplicada y también para mejorar el comportamiento general del elemento. La estructura está diseñada para no fisurarse hasta que el momento de agrietamiento sea menor que el momento por cargas de trabajo (los momentos por carga de trabajo son calculados sin tener en cuenta ningún factor de mayoración para las diferentes condiciones de carga actuantes sobre la estructura). Un agrietamiento bajo condiciones levemente adversas es aceptable debido a que la resistencia no es reducida por esto.

Asumiendo que el agrietamiento comienza cuando el esfuerzo a tensión en la fibra extrema del concreto alcanza el modulo de rotura, el momento puede ser calculado por la teoría elástica prediciendo con bastante exactitud el comportamiento del poste pretensado.

El momento extremo aplicado junto con el preesfuerzo produce una distribución de esfuerzos que afecta la resistencia al agrietamiento de la estructura, véase figura 1.8.

$$f_r = \sigma_t - \sigma_{ps} \quad (1.34)$$

$$M_{cr} = M_{rc} - M_{rp} \quad (1.35)$$

- Esfuerzo producido por el preesfuerzo efectivo.

$$\sigma_{ps} = \frac{F}{A_g} \quad (1.36)$$

- Esfuerzo producido por el momento externo.

$$\sigma_t = \frac{M \cdot y}{I_g} \quad (1.37)$$

$$y = \frac{D}{2} \quad (1.38)$$

- Momento resistente debido al módulo de rotura del concreto.

$$M_{rc} = \frac{f_r I_g}{y} \quad (1.39)$$

- Momento resistente debido a la compresión directa del preesfuerzo.

$$M_{rp} = \frac{F \cdot I_g}{A_g y} \quad (1.40)$$

Donde:

$\sigma_{ps}$  es el esfuerzo uniforme que actúa a través de la sección transversal de concreto, en  $\text{kg/cm}^2$ .

$F$  es la fuerza efectiva de preesfuerzo, en  $\text{kg}$ .

$A_g$  es el área grossa del concreto, en  $\text{cm}^2$ .

$\sigma_t$  es a tensión producido por el momento flector o externo, en  $\text{kg/cm}^2$ .

$y$  es la distancia de la fibra extrema al centroide de la sección, en  $\text{cm}$ , véase ecuación 1.38.

$D$  es el diámetro exterior de la sección, en  $\text{cm}$ .

$M_{rc}$  es el momento resistente debido al módulo de rotura del concreto, en  $\text{kg}\cdot\text{cm}$ .

$M_{rp}$  es el momento resistente debido a la compresión directa del preesfuerzo, en  $\text{kg}\cdot\text{cm}$ .

$M_{cr}$  es el momento de fisuración de la sección, en  $\text{kg}\cdot\text{cm}$ .

$I_g$  es el momento de inercia de la sección grossa, en  $\text{cm}^4$ .

$M$  es el momento flector que causa la fisuración de la sección, en  $\text{kg}\cdot\text{cm}$ .

$f_r$  es el modulo de rotura del concreto, en  $\text{kg/cm}^2$ . Según la *NSR-98* el módulo de rotura para el concreto es  $0,5 \cdot \sqrt{f'_c}$  donde  $f'_c$  es la resistencia a la compresión del concreto dada en *Mpa*.

## 1.6 RETRACCIÓN DE FRAGUADO

La retracción por fraguado puede inducir agrietamiento en el concreto preesforzado. Esto es función de muchas variables incluyendo la composición del cemento, la cantidad de agua en la mezcla de concreto, la relación volumen a superficie, y otros factores. Los postes con una baja relación volumen a superficie pueden tener una retracción por fraguado potencialmente alta, sin embargo, las bajas relaciones agua / cemento de los concretos fabricados en planta disminuyen este potencial.

## 1.7 CORTANTE, TORSIÓN Y ESFUERZOS COMBINADOS

La resistencia de los postes de concreto pretensado a la flexión es bien conocida, pero su resistencia al cortante o a una combinación de cortante y flexión no puede ser predicha exactamente. Los esfuerzos combinados son resistidos por adhesión y fricción entre el acero y el concreto.

Puede decirse que estos postes pretensados, poseen una gran confiabilidad para resistir cortante y esfuerzos combinados, ya que usualmente el preesforzado y las bajas relaciones agua / cemento previenen las grietas por retracción de fraguado.

**1.7.1 Resistencia a cortante.** El diseño de la sección transversal del poste a esfuerzos de corte esta dada por la siguiente expresión basada en la metodología propuesta por el PCI:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (1.41)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (1.42)$$

$$V_c = \frac{\sqrt{F_t^2 + F_t f_{pc}}}{Q} \quad (1.43)$$
$$2 * I_g * t$$

$$F_t = 4\sqrt{F'c} \quad (1.44)$$

$$V_s = \frac{A_v f_{ys} d}{s} \quad (1.45)$$

Donde:

$V_u$  es el cortante mayorado de la sección en consideración, en lb.

$\phi$  es coeficiente de reducción de resistencia, igual a 0,85.

$V_n$  es el cortante nominal, en lb, véase ecuación 1.42.

$V_c$  es la fuerza nominal proporcionada por el hormigón, en lb.

$V_s$  es la fuerza nominal proporcionada por el refuerzo a cortante, dados por las siguientes expresiones; para elementos pretensados de secciones circulares, en sistema de unidades inglesas;

$F_t$  es el esfuerzo a tensión del concreto, en psi.

$f_{pc}$  es el esfuerzo efectivo a compresión en el concreto debido al preesfuerzo, en psi.

$Q$  es el primer momento de inercia del área en consideración respecto a su eje centroidal, en in<sup>3</sup>.

$I_g$  es el momento de inercia de la sección gruesa, en in<sup>4</sup>.

$t$  es el espesor de la pared en la sección, en in.

$A_v$  es el área del refuerzo a cortante, en in<sup>2</sup>.

$S$  es la separación del refuerzo, en in.

$f_{ys}$  es la fluencia del acero de refuerzo a cortante, en psi.

$d$  es la distancia desde la fibra extrema sometida a compresión hasta el centroide del refuerzo sometido a tracción, en in, igual a 0,8 veces el diámetro exterior de la sección.

**1.7.2 Resistencia a torsión.** Basados en la metodología propuesta por el PCI, el diseño de postes en concreto sujetos a torsión se describe a continuación:

$$T_u \leq \phi T_c \quad (1.46)$$

$$T_c = \frac{J}{r_o} \sqrt{F_t^2 + F_t f_{pc}} \quad (1.47)$$

$$r_o = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \quad (1.48)$$

Donde:

$T_u$  es el torque mayorado actuante sobre la sección en consideración, en lb·in.

$F_t$  es el esfuerzo a tensión del concreto, en psi.

$\phi$  es el coeficiente de reducción de esfuerzo, igual a 0,85

$T_c$  es la resistencia torcional del miembro de concreto preesforzado, para sección circular se calcula según la ecuación 1.47.

$J$  es el momento polar de inercia de la sección, en in<sup>4</sup>.

$r_o$  es el radio externo de la sección, en in.

$f_{pc}$  es el esfuerzo efectivo a compresión en el concreto debido al preesfuerzo, en

psi.

$I_g$  es el momento de inercia de la sección gruesa, en  $\text{in}^4$ .

$A_g$  es el área gruesa de concreto, en  $\text{cm}^2$ .

**1.7.3 Resistencia a esfuerzos combinados.** Para elementos sujetos a esfuerzos combinados de cortante y torsión, la siguiente ecuación puede usarse para analizar la interacción de estos esfuerzos en el elemento:

$$\left( \frac{V_u}{0.85V_n} \right)^2 + \left( \frac{T_u}{0.85T_c} \right)^2 \leq 1.0 \quad (1.49)$$

Donde:

$V_u$  es el cortante mayorado de la sección en consideración, en lb.

$V_n$  es el cortante nominal, en lb, véase ecuación 1.42.

$T_u$  es el torque mayorado actuante sobre la sección en consideración, en lb·in.

$T_c$  es la resistencia torcional del miembro de concreto preesforzado, en lb·in, para sección circular se calcula según la ecuación 1.47.

## 2. ASPECTOS TEÓRICOS DE LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

### 2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo hace referencia a la teoría utilizada en los cálculos mecánicos y eléctricos para la realización de los diseños del proyecto. La naturaleza y tipo de conductores, cables de guarda y aisladores, el efecto del viento sobre cada uno de ellos, el peso propio y la tensión de los conductores y cables de guarda, los cuales determinan las cargas a las está sometida toda estructura.

### 2.2 ESFUERZOS

**2.2.1 Consideraciones generales sobre esfuerzos.** Toda estructura debe ser apta para soportar los esfuerzos a los que está sometida y además servir de respaldo a las estructuras vecinas en caso tal que alguna de ellas colapse. Los esfuerzos a los que están sometidos las estructuras se clasifican de acuerdo al tiempo de duración y según el tipo.

#### 2.2.2 Clasificación de los esfuerzos.

**Esfuerzos permanentes.** Son esfuerzos presentes en todas las estructuras en todo instante de tiempo, estos esfuerzos son:

- Esfuerzos longitudinales: presentes al existir un desequilibrio entre las tracciones ejercidas por los conductores y cables de guarda sobre la estructura. Presentes únicamente en estructuras de retención y terminales.
- Esfuerzos por cambio de dirección de la línea: debido al ángulo de deflexión presente en estructuras de ángulo o de cambio de dirección de alineamiento, existe una resultante en función del mismo ángulo y de los esfuerzos longitudinales y transversales que ejercen los conductores, cables de guarda, aisladores, herrajes, accesorios y otros equipos que concurren en la estructura. Cuando la estructura de ángulo está sujeta a igualdad de

condiciones en sus vanos adyacentes, la resultante de sus esfuerzos por cambio de dirección de alineamiento tiene la misma dirección de la bisectriz del ángulo interno en el punto de deflexión de ubicación de la estructura.

- Esfuerzos verticales: debidos al peso propio la estructura, crucetas, conductores, cables de guarda, aisladores, herrajes, accesorios y otros equipos. El manguito de hielo es un fenómeno originario de esfuerzos verticales y será necesaria su inclusión dentro de dichos esfuerzos cuando la envergadura y circunstancias del proyecto así lo determinen.
- Esfuerzos por levantamiento: se presentan en estructuras localizadas en puntos topográficos bajos, en donde las tracciones ejercidas por los conductores y cables de guarda sobre la estructura son en dirección ascendente. Estos esfuerzos se deben evitar en todo diseño.

**Esfuerzos aleatorios.** Son esfuerzos cuya ocurrencia está denotada al azar, sin embargo influyen directamente sobre las dimensiones mecánicas y resistivas de la estructura, estos esfuerzos son los debidos al viento. Originados por la presión del viento en dirección normal a la superficie de la estructura, crucetas, conductores, cables de guarda, aisladores, herrajes, accesorios y otros equipos.

Toda estructura se debe fijar con un riesgo de falla mecánica o factor de seguridad mayor para cargas aleatorias que para cargas permanentes, es decir, la estructura debe ser más segura frente a cargas permanentes.

**Esfuerzos excepcionales o especiales.** Se presentan durante lapsos de tiempo muy breves en comparación con la vida útil para la cual fue diseñada la línea. La rotura de conductores, cables de guarda, aisladores u otros equipos, así como el choque de un vehículo, el colapso de alguna estructura vecina, fenómenos sísmicos de gran magnitud e inclusive un evento extraordinario y de extrema gravedad como el tornado son muestra de ello.

## 2.3 ASLADORES

**2.3.1 Naturaleza.** Uno de los elementos más importantes de las líneas eléctricas aéreas son las que forman parte del aislamiento. Tradicionalmente el aislamiento ha estado formado por elementos de porcelana, y por elementos de vidrio: estos aisladores y la tecnología desarrollados para ellos ha posibilitado un buen sistema modular polivalente en varias tensiones a un costo razonable.

Entre los materiales que se han utilizado para aislamiento eléctrico en media y alta tensión cabe destacar:

- El fenol-asbesto.
- Las resinas melamina-fenol con carga mixta.
- Las melaminas mineralizadas.
- Las epoxídicas reforzadas principalmente con fibra de vidrio.

Siendo estos últimos los que ofrecen mejores posibilidades de desarrollo debido a su costo y características.

**2.3.2 Cálculo eléctrico.** Salvo que el fabricante no facilite los datos eléctricos y mecánicos de las cadenas de aisladores, en número de aisladores por cadena se calcular aplicando las tablas 2.1 y 2.2 y la ecuación 2.1.

Tabla 2.1. Grados de aislamiento según la zona

Zonas o ambientes	Grados de aislamiento (cm/kV)
Forestales y agrícolas	De 1,7 a 1,9
Industriales y próximas al mar	De 2,2 a 2,5
Industriales y muy próximas al mar	De 2,6 a 3,2
Industriales y muy próximas al mar con fábricas de cemento, productos químicos, centrales térmicas, etc.	Superior a 3,5

Tabla 2.2. Tensión eléctrica máxima entre fases

Tensión nominal entre fases (kV)	Tensión máxima entre fases (kV)
34,5	36
115	123
230	245

Tabla 2.3. Factor de corrección de rigidez dieléctrica por altura

Altitud (m)	Factor de corrección del nivel de aislamiento
1000	1.00
1200	0.98
1500	0.95
1800	0.92
2100	0.89
2400	0.86
2700	0.83
3000	0.80
3600	0.75
4200	0.70
4500	0.67

$$n_{ais} = \frac{V_{max} \cdot G_a}{L_f} \quad (2.1)$$

Donde:

$n_{ais}$  es el número de aisladores.

$V_{max}$  es la tensión eléctrica máxima de la línea, en kV.

$G_a$  es el grado de aislamiento, en cm/kV.

$L_f$  es la línea de fuga del aislador, en cm.

**2.3.3 Coeficiente de seguridad.** Una vez hecho el cálculo eléctrico de la cadena de aisladores, es necesario comprobar si el coeficiente de seguridad mecánico no es inferior a 3, caso contrario, se hace necesario el uso de una cadena más de aisladores para que la carga quede distribuida.

$$C_s = \frac{T_r}{T} \quad (2.2)$$

Donde:

$C_s$  es el coeficiente de seguridad mecánico.

$T_r$  es la tensión de rotura de la cadena de aisladores, en kg.

$T$  es la carga mecánica total a la que está sometida la cadena, en kg, véase ecuaciones 2.41, 2.46, 2.50 y 2.54.

**Acción del viento sobre los aisladores.** La fuerza del viento sobre el aislador está dada por la ecuación 2.3.

$$F_{va} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot C_x \cdot \frac{Q V_s^2 \cdot \phi_a \cdot l_c \cdot n_c}{2 \cdot g} \quad (2.3)$$

Donde:

$F_{va}$  es la fuerza del viento sobre la cadena de aisladores por fase, en kg.

$C_x$  es el coeficiente aerodinámico igual a 1,2.

$Q$  es la masa volumétrica del aire igual  $1,225 \text{ kg/m}^3$  a  $15^\circ\text{C}$  y una presión de 1013 mbar.

$V_s$  es la velocidad de viento de diseño, en km/h.

$\phi_a$  es el diámetro de la cadena de aisladores, en metros.

$l_c$  es la longitud de la cadena de aisladores, en m.

$g$  es el valor de la gravedad igual a  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

$n_c$  es el número de cadenas de aisladores por fase.

**2.3.4 Peso de los aisladores.** El peso de la cadena de aisladores está dado por la ecuación 2.4, a menos nuevamente, que el fabricante facilite este valor.

$$P_a = (n_c \cdot n_{ais} \cdot Q_a) + Q_e \quad (2.4)$$

Donde:

$P_a$  es el peso de los aisladores por fase, en kg.

$n_c$  es el número de cadenas de aisladores por fase.

$n_{ais}$  es el número de aisladores por cadena.

$Q_a$  es el peso un aislador, en kg.

$Q_e$  es el peso de la herrajería, en kg.

## 2.4 CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA

**2.4.1 Naturaleza de los conductores.** El uso de conductores de Aluminio desnudo en líneas aéreas de transmisión y distribución de energía eléctrica es muy usual, debido a las ventajas mecánicas y eléctricas que estos ofrecen. Algunos de ellos son:

- AAC ó ASC (All Aluminum Conductor/Aluminum Stranded Conductor): conductor de Aluminio cableado concéntricamente, formado en su totalidad por alambres de Aluminio, se usa en líneas aéreas de transmisión y distribución de

energía eléctrica donde no se requiera una carga de rotura muy alta, especialmente en vanos o tramos cortos.

- AAAC (All Aluminum Alloy Conductor): conductor de aleación de Aluminio cableado concéntricamente, formado en su totalidad por alambres de aleación de Aluminio, presenta una excelente relación carga de rotura a peso y posee una buena resistencia a la corrosión.
- ACAR (Aluminum Conductor Aluminum Alloy Reinforced): conductor de Aluminio reforzado con aleación de Aluminio, formado por alambres de Aluminio cableados concéntricamente alrededor de un núcleo de aleación de Aluminio, su buena relación de carga de rotura a peso hace que sea aplicable donde se requiere buena característica de conducción de corriente y de carga de rotura.
- ACSR/GA (Aluminum Conductor Coated Steel Reinforced): conductor de Aluminio reforzado con Acero recubierto de Zinc, formado por alambres de Aluminio cableados concéntricamente alrededor de un núcleo de Acero recubierto con Zinc, presenta muy buena carga de rotura, característica especialmente útil para el diseño de líneas eléctricas aéreas.
- ACSR/AW (Aluminum Conductor, Aluminum Clad Steel Reinforced): conductor de Aluminio reforzado con Acero recubierto de Aluminio, formado por alambres de Aluminio cableados concéntricamente alrededor de un núcleo de Acero recubierto con Aluminio, se usa donde se requiere una mayor protección a la corrosión que en los conductores ACSR/GA.

**2.4.2 Naturaleza de los cables de guarda.** Los cables de acero galvanizado de grado extra resistente son muy comunes al hora de determinar el tipo y calibre del cable de guarda, aunque actualmente en el mercado, el implemento de nuevas tecnologías permite obtener una doble funcionalidad en la implementación del cable de guarda, no sólo cumple con su función básica de protección ante posibles descargas atmosféricas sino además permite integrar el mundo de las telecomunicaciones en las líneas aéreas de energía eléctrica, a un bajo costo y fácil accesibilidad. Algunas de las nuevas alternativas son:

- OPGW (Optical Ground Wire): un cable de guarda formado por alambres de Aluminio cableados alrededor de un núcleo de fibras ópticas.

- **ADSS (All Dielectric Self Supporting Cable):** un cable autoportado totalmente dieléctrico. Su construcción de tubos holgados permite a las fibras permanecer libres de esfuerzos en su rango de operación.
- **SkyWrap:** es un maquina especialmente diseñada para envolver el cable de guarda bajo condiciones controladas. El SkyWrap permite realizar mantenimientos en línea viva y es ideal cuando existen conflictos de inaccesibilidad en la línea.

Otras tecnologías que actualmente se implementan en el mercado son el MicroCore y el Loose Tube y el Premise Cable.

### **2.4.3 Hipótesis de diseño.**

**Hipótesis de operación diaria.** Como su nombre lo indica, es aquella situación en donde los conductores y cables de guarda están sometidos habitualmente a tensiones que no superan el 20% de la tensión de rotura de los mismos.

**Hipótesis de extremo trabajo mecánico.** Situación en donde los conductores y cables de guarda están sometidos a tensiones elevadas presentes debido al efecto de la presión de viento máximo y la temperatura coincidente sobre el conductor, dichas tensiones no deben superar 50% de la tensión de rotura de los mismos.

**Hipótesis de máxima flecha.** Situación presente en condiciones de máxima temperatura, donde el conductor se acerca considerablemente al terreno debido a la fluencia del mismo. En esta hipótesis la flecha de los cables de guarda debe ser máximo el 80% del valor de la máxima flecha de los conductores.

**2.4.4 Tensión mecánica.** Debido a las deformaciones elásticas de los conductores, alargamiento presente en la condición de máxima temperatura o acortamiento presente en la condición de extremo trabajo, las tensiones provocadas por dichos efectos son modelables mediante la aplicación de la ley de Hook planteada en la ecuación 2.5.

$$L_2 - L_1 = L_1 \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + L_1 \frac{t_2 - t_1}{E} \quad (2.5)$$

$$L_1 = \frac{2 \cdot th_1}{w_1} \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_1}{2 \cdot th_1}\right) \quad (2.6)$$

$$L_2 = \frac{2 \cdot th_2}{w_2} \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_2}{2 \cdot th_2}\right) \quad (2.7)$$

$$t_1 = th_1 \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_1}{2 \cdot th_1}\right) \quad (2.8)$$

$$t_2 = th_2 \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_2}{2 \cdot th_2}\right) \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{2 \cdot th_2}{w_2} \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_2}{2 \cdot th_2}\right) - \frac{2 \cdot th_1}{w_1} \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_1}{2 \cdot th_1}\right) &= \frac{2 \cdot th_1}{w_1} \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_1}{2 \cdot th_1}\right) \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) + \\ &+ \frac{2 \cdot th_1}{E \cdot w_1} \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_1}{2 \cdot th_1}\right) \cdot \left( th_2 \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_2}{2 \cdot th_2}\right) - th_1 \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot w_1}{2 \cdot th_1}\right) \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$m_i = \sqrt{1 + \left(\frac{f_{vci}}{q_c}\right)^2} \quad (2.11)$$

$$w_i = m_i \cdot w \quad (2.12)$$

$$w = \frac{q_c}{S} \quad (2.13)$$

Donde:

$L_1, L_2$  son la longitud inicial y final del conductor, en m.

$\theta_1, \theta_2$  son la temperatura inicial y final del conductor, en °C.

$t_1, t_2$  son la tensión mecánica inicial y final del conductor, en kg/mm<sup>2</sup>.

$\alpha$  es el coeficiente de dilatación del conductor, en °C<sup>-1</sup>.

$E$  es el módulo de elasticidad del conductor, en kg/mm<sup>2</sup>.

$th_1, th_2$  son la tensión mecánica horizontal inicial y final del conductor, en kg/mm<sup>2</sup>.

$w_1, w_2$  son el peso aparente inicial y final del conductor, en kg/m·mm<sup>2</sup>.

$a$  es la longitud horizontal del vano, en m.

$q_c$  es el peso del conductor, en kg/m.

$f_{vci}$  es la presión del viento sobre el conductor para una condición de trabajo  $i$ , en kg/m, véase ecuación 2.20.

$m_i$  es el factor de sobrecarga para una condición de trabajo  $i$ .

$S$  es el área de la sección transversal de conductor, en mm<sup>2</sup>.

A menos que el fabricante no facilite los valores del coeficiente de dilatación y el módulo de elasticidad para conductores ACSR, estos se calculan mediante el uso de las ecuaciones 2.14 y 2.15, respectivamente.

$$\alpha = \frac{\alpha_{al} \cdot E_{al} \cdot h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + \alpha_{ac} \cdot E_{ac} \cdot h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2}{E_{al} \cdot h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + E_{ac} \cdot h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2} \quad (2.14)$$

$$E = \frac{E_{al} \cdot h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + E_{ac} \cdot h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2}{h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2} \quad (2.15)$$

Donde:

$\alpha_{al}$ ,  $\alpha_{ac}$  son el coeficiente de dilatación del aluminio y el acero, en °C<sup>-1</sup>.  
 $E_{al}$ ,  $E_{ac}$  son el módulo de elasticidad del aluminio y el acero, en kg/mm<sup>2</sup>.  
 $h_{al}$ ,  $h_{ac}$  son el número de hilos de aluminio y el acero en el conductor.  
 $\phi_{al}$ ,  $\phi_{ac}$  es el diámetro de un hilo de aluminio y uno de acero, en mm.

**2.4.5 Determinación de la flecha.** La fórmula general para determinar el valor de la flecha en cualquier condición topográfica de terreno es:

$$f = h \cdot \cosh\left(\frac{x_m}{h}\right) \cdot \left[ \cosh\left(\frac{a}{2h}\right) - 1 \right] \quad (2.16)$$

$$h = \frac{th}{w} \quad (2.17)$$

$$x_m = \frac{x_d - x_i}{2} \quad (2.18)$$

Donde:

$f$  es la flecha, en m.

$h$  es al parámetro final del conductor, en m.

$a$  es la longitud horizontal del vano, en m.

$th$  es la tensión mecánica horizontal, en kg/mm<sup>2</sup>.

$w$  es el peso aparente del conductor, en kg/m/mm<sup>2</sup>.

$x_m$  es la abscisa media de la longitud horizontal del vano desnivelado, en m.

$x_d$  es la abscisa extrema derecha de la longitud horizontal del vano desnivelado, en m.

$x_i$  es la abscisa extrema izquierda de la longitud horizontal del vano desnivelado, en m.

**2.4.6 Vano máximo.** El vano máximo permitido es el mínimo vano comprendido entre el vano máximo por penduleo y el vano máximo por altura de la estructura.

**Vano máximo por penduleo de los conductores.** Mediante la ecuación 2.19 y en caso tal que la distancia entre conductores en la estructura ya esté establecida, se puede determinar el máximo vano por penduleo de los conductores despejando la variable de la flecha máxima.

$$f_{max} = \left( \frac{D_c}{k} - \frac{U}{k \cdot 150} \right)^2 - \lambda \quad (2.19)$$

Donde:

$D_c$  es la distancia mínima entre conductores en la misma estructura, en m.

$f_{max}$  es la flecha máxima, en m.

$\lambda$  es la longitud de la cadena de aisladores, en m. Para estructuras en retención  $\lambda$  es cero.

$U$  es la tensión máxima de línea, en kV.

$k$  es el coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, el cual se toma de la tabla 2.10.

Todos los vanos cuya máxima flecha sea menor o igual al valor que se obtenga mediante la ecuación 2.19 son permitidos.

**Vano máximo por altura de la estructura.** La mínima altura de amare del conductor montado en el punto más bajo de las estructura, está dada por la suma de la mínima distancia al terreno y la flecha máxima del respectivo conductor. Por ello el vano máximo permitido es aquel cuya máxima flecha sea menor o igual a la condición que satisface la mínima altura de amarre del conductor más bajo.

**2.4.7 Acción del viento sobre los conductores.** La acción del viento depende de la rugosidad del terreno, cuanto más rugoso es este, más frenado y turbulento será el viento. La fuerza del viento sobre los conductores está dada por la ecuación 2.20.

$$F_{vc} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot C_f \cdot C_l \cdot \frac{Q V_s^2 \cdot \phi_c \cdot l_v \cdot n}{2 \cdot g} \quad (2.20)$$

Donde:

$F_{vc}$  es la fuerza del viento sobre los conductores por fase, en kg.

$C_f$  es el coeficiente aerodinámico del conductor, para cables es igual a 1,45.

$C_l$  es el coeficiente longitudinal igual a 0,6.

$Q$  es la masa volumétrica del aire igual  $1,225 \text{ kg/m}^3$  a  $15^\circ\text{C}$  y una presión de 1013 mbar.

$V_s$  es la velocidad de viento de diseño, en km/h.

$\phi_c$  es el diámetro del conductor, en m.

$l_v$  es la longitud del vano viento, en m.

$g$  es el valor de la gravedad igual  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

$n$  es el número de conductores por fase.

$$V_s = V \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2.21)$$

Donde:

$V_s$  es la velocidad de viento de diseño, en km/h.

$S_1$  es el coeficiente de topografía, véase tabla 2.4.

$S_2$  es el coeficiente de rugosidad del terreno, del tamaño de la estructura y de altura sobre el terreno, véase tabla 2.5.

$S_3$  es el coeficiente del grado de seguridad y vida útil, véase tabla 2.6.

Tabla 2.4. Coeficiente de topografía  $S_1$

Topografía	$S_1$
a. Todos los casos excepto los dados en b y c.	1,0
b. Laderas y cimas montañosas muy expuestas en donde se sabe que el viento se acelera, y valles donde debido a su forma se concentra el viento	1,1
c. Valles encerrados protegidos de todo viento	0,9

Tabla 2.5. Coeficiente de rugosidad del terreno  $S_2$ , de acuerdo a la altura de montaje

Altura de montaje (m)	Campos abiertos sin obstrucciones.	Campos abiertos con vallas.	Campos con muchas vallas, pueblos o afueras de ciudades.	Zonas grandes y frecuentes obstrucciones como centros de ciudad.
3	0,78	0,67	0,60	0,52
5	0,83	0,74	0,65	0,55
10	0,93	0,88	0,74	0,62
15	0,99	0,95	0,83	0,69
20	1,01	0,98	0,90	0,75
30	1,05	1,03	0,97	0,85
40	1,08	1,06	1,01	0,93

Tabla 2.6. Coeficiente del grado de seguridad y vida útil  $S_3$

Edificación	$S_3$
Todas las edificaciones y estructuras de ocupación normal	1,00
Edificaciones y estructuras de ocupación especial, diseñadas para prestar servicios indispensables esenciales o de atención a la comunidad.	1,05
Edificaciones agrícolas y estructuras de almacenamiento que por su ocupación implican bajo riesgo para la vida humana y para construcciones temporales	0,95

**2.4.8 Peso de los conductores.** El peso de los conductores está dado por la ecuación 2.22.

$$P_c = q_c \cdot l_p \cdot n \quad (2.22)$$

Donde:

$P_c$  es el peso de los conductores por fase, en kg.

$q_c$  es el peso del conductor, en kg/m.

$l_p$  es la longitud del vano peso, en m.

$n$  es el número de conductores por fase.

**2.4.9 Distancias mínimas de los conductores.** Las distancias mínimas de seguridad que deben conservar los conductores entre ellos y el terreno, son referenciadas de acuerdo al Retie, resoluciones 180398 del 7 de Abril de 2004 y 180498 del 29 de Abril de 2005.

Tabla 2.7. Distancia mínima de seguridad

Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular.	230	6,8
	115	6,1
	34,5	5,6

Tabla 2.8. Distancia mínima horizontal entre conductores soportados en la misma estructura

Clase de circuito y tensión entre los conductores considerados	Distancia horizontales de seguridad
<b>Conductores de suministro del mismo circuito</b> Entre 8,7 y 50 kV Más de 50 kV	30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV Ningún valor especificado
<b>Conductores de suministro de diferente circuito</b> Entre 8,7 y 50 kV Más de 50 kV	30 más 1 cm por kV sobre 8,7 kV 72,5 más 1 cm por kV sobre 50 kV

Para las tensiones que excedan los 50 kV, la distancia de seguridad debe ser incrementada en un 1% por cada 100 m en exceso de 1000 metros sobre el nivel del mar. Todas las distancias de seguridad para tensiones mayores de 50 kV se basarán en la máxima tensión de operación.

Tabla 2.9. Distancia mínima vertical ente conductores sobre la misma estructura

Conductores de suministro eléctrico a la intemperie y a mayor altura		
Entre 7,6 y 66 kV	Entre 11,4 y 34,5 kV	60 más 1 cm por kV sobre 7,6 kV

Para efectos de cálculo la distancia mínima entre conductores se determina mediante la ecuación 2.23, manteniendo siempre las mínimas distancias mencionadas anteriormente.

$$D_c = k \cdot \sqrt{f_{max} + \lambda} + \frac{U}{150} \quad (2.23)$$

Donde:

$D_c$  es la distancia mínima entre conductores en la misma estructura, en m.

$f_{max}$  es la flecha máxima, en m.

$\lambda$  es la longitud de la cadena de aisladores, en m. Para estructuras en retención  $\lambda$  es cero.

$U$  es la tensión máxima de línea, en kV.

$k$  es el coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, el cual se toma de la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Coeficiente de oscilación de los conductores

Angulo de oscilación	Valores de $k$
Superior a 65°	0,70
Entre 40° y 65°	0,65
Inferior a 40°	0,60

La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y la estructura no será inferior a lo determinado según la ecuación 2.24.

$$D_e = 0,1 + \frac{U}{150} \quad (2.24)$$

Donde:

$D_e$  es la distancia mínima entre conductores y sus accesorios y estructura, en m.

$U$  es la tensión máxima de línea, en kV.

**2.4.10 Modelo Electrogeométrico.** El modelo electrogeométrico determina la posición del cable de guarda buscando el punto de intersección de los radios de atracción de la tierra, los conductor y el mismo cable de guarda, de tal forma que el radio de éste último cubra dicho punto de intersección.

$$Z_s = 60 \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{2h}{r_c}\right) \cdot \ln\left(\frac{2h}{r_e}\right)} \quad (2.25)$$

$$r_e = (n \cdot r \cdot R_b^{n-1})^{1/n} \quad (2.26)$$

$$R_b = \frac{d}{2 \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{n}\right)} \quad (2.27)$$

$$r_c = \left( 0,1434 \cdot \left(\frac{V_f}{1500}\right)^{1,137} \right) \cdot \left( \left(\frac{100}{h}\right)^{0,2139} \cdot \left(\frac{V_f}{1500}\right)^{0,3109} \right) \quad (2.28)$$

$$I_{min} = \frac{2V_f}{Z_s} \quad (2.29)$$

$$S = 10 \cdot I_{min}^{0,65} \quad (2.30)$$

$$\beta = 1,04 - 0,00036 \cdot V_{max} \quad (2.31)$$

$$(x_p - x_\phi)^2 + (\beta \cdot S - y_\phi)^2 = S^2 \quad (2.32)$$

$$(x_p - x_g)^2 + (\beta \cdot S - y_g)^2 = S^2 \quad (2.33)$$

Donde:

$Z_s$  es la impedancia característica de la línea, en Ohm.

$r_e$  es el radio equivalente del haz de conductores por fase, en m.

$R_b$  es el radio geométrico tangente a cada centro de los conductores en haz, en m.

$r_c$  es el radio corona, en m.

$r$  es el radio del conductor, en m.

$I_{min}$  es la corriente de descarga mínima para producir flameo en los aisladores., en kA.

$S$  es el radio de atracción de los conductores según Whitehead–Brown, en m.

$\beta$  es el factor multiplicativo de la distancia de atracción de la tierra según EPRI.

$V_f$  es la tensión eléctrica de soporte de la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50, en kV.

$V_{max}$  es el tensión eléctrica máxima de la línea, en kV.

$n$  es el número de conductores por fase.

$h$  es la altura promedio de los conductores en la estructura, en m.

$x_p$  es el punto de intersección de los radios de atracción de los conductores, cables de guarda y la tierra.

$x_\phi$ ,  $y_\phi$  son las coordenadas de la posición del conductor.

$x_g$ ,  $y_g$  son las coordenadas de la posición del cable de guarda.

## 2.5 ESTRUCTURAS

**2.5.1 Naturaleza.** Todo elemento integral de una línea aérea de energía eléctrica incide directa o indirectamente sobre las estructuras, afectando las tensiones mecánicas a las que está sometida. Las estructuras pueden ser metálicas, de hormigón, madera o cualquier otro material apropiado para su uso.

En el diseño de toda estructura se debe tener en cuenta que ésta presente una elevada resistencia a las acciones atmosféricas, excelente estabilidad ante perturbaciones sísmicas y fácil accesibilidad para operaciones de mantenimiento.

### 2.5.2 Tipo.

**Suspensión.** Son estructuras diseñadas para soportar esfuerzos verticales y transversales debidos a la presión del viento. Puede ser de alineamiento o de cambio de ángulo, aunque no permite ángulos muy grandes debido al balanceo de la cadena de aisladores y a la aproximación del los conductores a partes donde represente peligro y no cumpla con las distancias mínimas de seguridad.

**Retención.** Son estructuras diseñadas para soportar esfuerzos verticales, transversales y longitudinales debidos al desequilibrio de tensiones mecánicas provocadas por la diferencia de longitudes en los vanos adyacentes a la estructura. Puede ser de alineamiento o de cambio de ángulo.

**Terminal.** Son estructuras diseñadas para soportar esfuerzos verticales, transversales y longitudinales ejercidos por un solo vano.

**2.5.3 Cálculo mecánico.** La determinación de las cargas de cada estructura en los tres ejes dimensionales se calcula mediante el uso de las ecuaciones comprendidas entre la 2.32 y 2.58.

Figura 2.1 Esquema espacial de una estructura



### Estructura de suspensión.

$$R_{x1} = F_{vc1} \cdot \cos(\alpha/2) + nTh \cdot \text{sen}(\alpha/2) \quad (2.32)$$

$$R_{y1} = -nTh \cdot \cos(\alpha/2) \quad (2.33)$$

$$R_{z1} = -P_{c1} \quad (2.34)$$

$$R_{x2} = F_{vc2} \cdot \cos(\alpha/2) + nTh \cdot \text{sen}(\alpha/2) \quad (2.35)$$

$$R_{y2} = nTh \cdot \cos(\alpha/2) \quad (2.36)$$

$$R_{z2} = -P_{c2} \quad (2.37)$$

$$R_x = (F_{vc1} + F_{vc2}) \cos(\alpha/2) + 2 \cdot nTh \cdot \text{sen}(\alpha/2) + F_{va} \quad (2.38)$$

$$R_y = 0 \quad (2.39)$$

$$R_z = -(P_{c1} + P_{c2}) - P_a \quad (2.40)$$

$$T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad (2.41)$$

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{R_x}{R_z}\right) \quad (2.42)$$

### Estructura de retención.

$$R_{x1} = (F_{vc1} + F_{va1}) \cos(\alpha/2) + nTh_1 \cdot \text{sen}(\alpha/2) \quad (2.43)$$

$$R_{y1} = -nTh_1 \cdot \cos(\alpha/2) \quad (2.44)$$

$$R_{z1} = -(P_{c1} + P_{a1}) \quad (2.45)$$

$$T_1 = \sqrt{R_{x1}^2 + R_{y1}^2 + R_{z1}^2} \quad (2.46)$$

$$R_{x2} = (F_{vc2} + F_{va2}) \cos(\alpha/2) + nTh_2 \cdot \text{sen}(\alpha/2) \quad (2.47)$$

$$R_{y2} = nTh_2 \cdot \cos(\alpha/2) \quad (2.48)$$

$$R_{z2} = -(P_{c2} + P_{a2}) \quad (2.49)$$

$$T_2 = \sqrt{R_{x2}^2 + R_{y2}^2 + R_{z2}^2} \quad (2.50)$$

$$R_x = (F_{vc1} + F_{vc2} + F_{va1} + F_{va2}) \cos(\alpha/2) + nTh_1 \cdot \text{sen}(\alpha/2) + nTh_2 \cdot \text{sen}(\alpha/2) \quad (2.51)$$

$$R_y = n \cdot Th_2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - n \cdot Th_1 \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (2.52)$$

$$R_z = -(n \cdot P_{c1} + n_{c1} \cdot P_{a1} + n \cdot P_{c2} + n_{c2} \cdot P_{a2}) \quad (2.53)$$

$$T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad (2.54)$$

### Estructura terminal.

$$R_x = n_c \cdot F_{va} + n \cdot F_{vc} \quad (2.55)$$

$$R_y = n \cdot Th \quad (2.56)$$

$$R_z = -(n \cdot P_c + n_c \cdot P_a) \quad (2.57)$$

$$T = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad (2.58)$$

Donde:

$R_{x1}$ ,  $R_{x2}$  son las resultantes transversales del eje x de los vanos anterior y posterior a la estructura, en kg.

$R_{y1}$ ,  $R_{y2}$  son las resultantes longitudinales del eje y de los vanos anterior y posterior a la estructura, en kg.

$R_{z1}$ ,  $R_{z2}$  son las resultantes verticales del eje z de los vanos anterior y posterior a la estructura, en kg.

$R_x$  es la resultante transversal total en x a la que está sometida la estructura, en kg.

$R_y$  es la resultante longitudinal total en y a la que está sometida la estructura, en kg.

$R_z$  es la resultante vertical total en z a la que está sometida la estructura, en kg.

$T_1$ ,  $T_2$  son las resultantes totales del vano anterior y posterior a la estructura, en kg.

$T$  es la resultante total a la que está sometida la estructura, en kg.

$\theta$  es al ángulo de balanceo de la cadena de suspensión.

**2.5.4 Factores de seguridad.** Los factores de seguridad aplican para condiciones normales de operación, para condiciones anormales el factor de seguridad será 1,25 para los diferentes tipos de carga.

Tabla 2.11. Factores de seguridad en condición normal

	Factor de seguridad
Estructura en concreto	2,5
Cargas verticales	1,1
Cargas transversales de viento	2,0
Cargas longitudinales	1,2
Cargas de ángulo	1,5
Aisladores y herrajes	3,0

**2.5.5 Condiciones de carga.** Todas las condiciones de carga se deben estudiar para determinar la más desfavorable y seleccionar el tipo de estructura que soporte dicha condición.

**2.5.6 Condición de carga normal.** Todos los conductores y cables de guarda sanos operando bajo condición diaria. Velocidad de viento promedio de diseño y temperatura coincidente.

**2.5.7 Condición de carga anormal.** En esta condición cualquier conductor o conductores a los que se haga referencia debe ser el de mayor altura, debido a que éste representa mayores esfuerzos de flexión para la estructura.

#### **Estructura de suspensión.**

- Un conductor roto en cualquier fase. Las demás fases y los cables de guarda sanos. Velocidad de viento máximo promedio y temperatura coincidente.
- Un cable de guarda roto y las fases y el cable de guarda restante (si existe) sanos. Velocidad de viento máximo promedio y temperatura coincidente.

#### **Estructura de retención.**

- Cualquier fase y un cable de guarda rotos simultáneamente. Las demás fases y el cable de guarda restante (si existe), sanos. Velocidad de viento máximo promedio y temperatura coincidente.

Para líneas con un solo conductor por haz, se consideran además la siguiente condición:

- Dos fases diferentes rotas. Las fases restantes y los cables de guarda, sanos. Velocidad de viento máximo promedio y temperatura coincidente.

#### **Estructura terminal.**

- Cualquier fase y un cable de guarda rotos simultáneamente. Las demás fases y el cable de guarda restante (si existe), sanos. Velocidad de viento máximo promedio y temperatura coincidente.
- Dos fases diferentes rotas. Las fases restantes y los cables de guarda, sanos. Velocidad de viento máximo promedio y temperatura coincidente.

**Condición de carga de montaje.** Para toda estructura autosoportante terminal o de retención debe comprobarse la forma de montaje más conveniente según sean las características mecánicas de la misma, para evitar posibles accidentes por rotura o vuelco de la estructura debido a exceso de cargas aplicadas en el momento del montaje y a las que sólo será sometida la estructura una vez haga parte de la línea en su vida útil.

### 3. CONSIDERACIONES Y CRITERIOS DE DISEÑO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Las condiciones, criterios y metodología empleada en forma general para todos los diseños, se encuentran plasmados en el presente capítulo. El tipo de aislador utilizado en cada diseño, el conductor y el cable de guarda, así como los cálculos para encontrar variables relevantes del diseño.

#### 3.2 AISLADORES

**3.2.1 Consideraciones ambientales.** Satisfaciendo el cubrimiento total de los grados de aislamiento planteados en la tabla 2.8, es viable diseñar con dos de abarquen totalmente los mismos y sean aplicables a las condiciones ambientales presentes en Colombia. Los grados de aislamiento establecidos para el diseño de estructuras son 2,0 cm/kV para zonas forestales o agrícolas y 3,2 cm/kV para zonas con alta polución o contaminación salina.

**3.2.2 Criterios de selección.** Sin omitir el posicionamiento global de las nuevas tecnologías en el mercado en cuanto a aisladores se refiere, los aisladores seleccionados para efectos de cálculo en los diseños de las estructuras son de vidrio templado, cuyas características físicas y mecánicas han sido referenciadas por Saint Gobain bajo prescripciones técnicas de las normas IEC del tipo estándar y polución media o alta. [Véase fuente bibliográfica].

Los aisladores fabricados en vidrio templado presentan un alto grado de carga de rotura mecánica, son flexibles en conjunto cuando forman parte de una cadena de aisladores y su área superficial normal a la dirección del viento es superior en comparación con algunos otros, logrando con esto mayores esfuerzos transversales y longitudinales, ideales para establecer situaciones críticas de diseño, objetivo que se pretende abarcar en el presente proyecto.

Las características principales de los modelos de los aisladores para los diseños de 115 y 230 kV, seleccionados de acuerdo a criterios de diseño establecidos en la sección 3.4.3 del presente proyecto se encuentran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Modelos de aisladores utilizados para 230 y 115 kV

Modelo	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Línea de fuga (mm)	Carga de rotura mecánica (kN)	Peso (kg)
Estándar U210BS E-210-170	170	280	380	210	7,5
Polución Alta E-160P-170	170	320	545	160	8,3

Las características principales del modelo de aislador utilizado para el nivel de tensión eléctrica de 34,5 kV se encuentran en la tabla 3.2, seleccionado debido a que es el aislador que presenta mayores valores en las características físicas, mecánicas y eléctricas de la gama que presenta Saint Gobain.

Tabla 3.2. Modelo de aislador utilizado para 34,5 kV

Modelo	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Línea de fuga (mm)	Carga de rotura mecánica (kN)	Peso (kg)
Estándar U300B E-300-195	195	320	485	300	11,0

**3.2.3 Criterios de diseño.** En los diseños establecidos, durante el proceso de los mismos se establecieron los siguientes criterios:

- En las cadenas de aisladores, el número de aisladores se determinó de forma tal que el aislamiento fuese reforzado, es decir, la selección del número de aisladores siempre fue uno más del número de aisladores determinados según los cálculos.
- La herrajería de las cadenas de aisladores varía según las condiciones bajo las cuales se diseñe la línea, las exigencias mecánicas y eléctricas que ésta solicite, y la estética que se desee, por ello, su peso, dimensiones y forma son muy variables en comparación a otros elementos de la línea influyentes en el diseño. Los datos de herrajería necesarios en los diseños de estructuras son el peso considerado dentro de los esfuerzos verticales, y su longitud para los efectos de péndulo de la cadena de aisladores y las aproximaciones de los conductores entre sí y a la estructura. Tanto el peso como la longitud de la herrajería en los diseños se han modelado linealmente mediante la ecuación

3.1 de acuerdo al número de cadenas de aisladores y al número de conductores por fase.

$$Q_e = 22,5 \cdot n_c + 2,5 \cdot n \quad (3.1)$$

Donde:

$Q_e$  es el peso de la herrajería, en kg.

$n_c$  es el número de cadenas de aisladores.

$n$  es el número de conductores por fase.

El resultado final es un peso total de aisladores el cual es la suma del peso de las cadenas de aisladores y la herrajería, y una longitud total de aisladores el cual es la suma de la longitud de una cadena de aisladores y la longitud de la herrajería.

### 3.3 CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA

**3.3.1 Consideraciones ambientales.** En busca de diseños cabales que satisfagan cualquier condición ambiental, de viento o de temperatura, es necesario crear una plataforma de datos iniciales para las hipótesis de diseño de los conductores y cables de guarda, los cuales deben ser coherentes e irrefutables extractados de fuentes institucionales y normativas como el IDEAM y las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98

Tabla 3.3. Valores de temperaturas y velocidades de viento establecidos para las hipótesis de diseño de los conductores y cables de guarda.

<b>Altura sobre el nivel del mar (m)</b>	1000	2000	3000
<b>Velocidad máxima de viento (km/h)</b>	130,0	100,0	100,0
<b>Velocidad promedio de viento (km/h)</b>	16,0	13,0	9,0
<b>Temperatura coincidente (°C)</b>	18,0	12,0	8,0
<b>Temperatura promedio (°C)</b>	27,0	20,0	16,0
<b>Temperatura máxima (°C)</b>	75,0	67,5	60,0

**3.3.2 Criterios de selección de los conductores.** Los conductores que presentan mayor carga de rotura son los ACSR/GA ideales en el presente proyecto para obtener valores de tensiones mecánicas superiores en comparación a otro tipo de conductor y con el mismo calibre, por tanto, los conductores definidos para los diseños del presente proyecto son de tipo ACSR/GA, cuyas características físicas y mecánicas han sido referenciadas por CENTELSA SA. [Véase fuente bibliográfica]

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas de los conductores determinados para los diseños

Nombre comercial del conductor	Número de hilos		Diámetro (mm)		Diámetro del conductor (mm)	Peso (kg/km)	Carga de rotura (kg)
	Aluminio	Acero	Aluminio	Acero			
Oriole	30	7	2,69	2,69	18,83	784,6	7883
Hawk	26	7	3,44	2,68	21,79	977,7	8882
Bunting	45	7	4,14	2,76	33,08	2002	14512

**3.3.3 Criterios de selección de los cables de guarda.** Los cables de guarda establecidos para los diseños, al igual que los conductores han de presentar un elevado valor de tensión de rotura mecánica, con el fin de abarcar gamas extensas de tensiones mecánicas a las que puedan estar sometidas las estructuras y que con seguridad estas puedan soportar.

El avance de nuevas tecnologías en líneas eléctricas está orientado a reducir esfuerzos a los que puedan estar solicitados las estructuras al igual que darle mayor productividad y nuevas orientaciones de uso a las líneas, tal es el caso de tecnología en cables de guarda como el OPGW que presenta mayores ventajas en cuanto a su doble uso, características físicas y mecánicas. La diferencia entre los cables Alumoweld y de Acero utilizados en los diseños y referenciados en la tabla 3.5, con los cables OPGW, radica en su tensión de rotura mecánica, ya que los primeros presentan un mayor valor ideal para los diseños asegurando el cumplimiento a las solicitaciones mecánicas que pueda estar sometida la estructura con el uso de cables OPGW.

Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de los cables de guarda determinados para los diseños

Tensión eléctrica (kV)	Nombre comercial	Área nominal (mm <sup>2</sup> )	Diámetro nominal del cable (mm)	Peso nominal (kg/km)	Carga de rotura (kg)	Módulo de elasticidad (kg/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de expansión lineal (1/°C)
230	Alumoweld 7-6 AWG	93,1	12,34	620	10515	16500	13,01x10 <sup>-6</sup>
115	Alumoweld 7 - 7 AWG	73,87	11	481	8481	16170	13 x10 <sup>-6</sup>
34,5	Cable Acero 3/8"	51,1	9,52	399	6840	18130	11,50 x10 <sup>-6</sup>

### 3.3.4 Criterios de diseño.

**Número de conductores por fase.** Los calibres seleccionados fueron corroborados con calibres de conductores utilizados en líneas aéreas eléctricas de entidades tales como ISA SA, ESSA SA, CODENSA SA, EBSA SA, ELECTRICARIBE SA y ELECTROCOSTA SA.

Según lo referenciado en el Anexo CC.1 de la resolución CREG 025 de 1995 y las entidades mencionadas anteriormente, el número de conductores por fase para cada uno de los niveles de tensión eléctrica de diseño están contenidos en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Conductor y número de conductores utilizados para cada nivel de tensión eléctrica

Tensión eléctrica (kV)	Nombre comercial del conductor	Calibre (MCM)	Número de conductores por fase
230	Bunting	1192,5	1
115	Oriole	336,4	2
34,5	Hawk	477,0	1

**Factores de seguridad para las hipótesis de diseño.** Los factores de seguridad establecidos para las hipótesis de diseño de los conductores y cables de guarda han sido seleccionados de una serie de valores facilitados por las entidades mencionadas anteriormente, con el criterio de que en toda línea eléctrica el riesgo de falla mecánica de los conductores debe ser menor que el riesgo de falla mecánica de los cables de guarda, manteniendo siempre el margen de diferencia entre las flechas de los mismos según lo mencionado en la sección 2.4.3 del presente proyecto.

Factor de seguridad en hipótesis de operación diaria de los conductores 6

Factor de seguridad en hipótesis de extremo trabajo mecánico de los conductores 2,5

Factor de seguridad en hipótesis de operación diaria de los cables de guarda 6,5  
Factor de seguridad en hipótesis de extremo trabajo mecánico de los cables de guarda 2,5

**Ecuación de cambio de estado exacta.** En cumplimiento a lo establecido en la resolución CREG 025 de 1995, los cálculos para determinar las tensiones mecánicas de las hipótesis de diseño de los conductores y cables de guarda han sido realizados mediante el uso de la ecuación de cambio de estado en forma exacta o ecuación de la catenaria, véase ecuación 2.10, cuya solución se puede obtener aplicando el modelo numérico de Newton Rapshon o en su defecto, cualquier otro modelo de igual precisión.

**Terreno llano o nivelado.** Los cálculos para los diseños de las estructuras se realizaron bajo condiciones de terreno llano, debido a que éste presenta condiciones mecánicas más desfavorables para las estructuras en comparación a un terreno desnivelado, condiciones ideales y de relevancia en los diseños a realizar.

Algunas de las diferencias que presenta la catenaria en terreno llano en comparación a la catenaria en terreno desnivelado son:

- Mayores esfuerzos verticales.
- Mayores longitudes de flechas, las cuales influyen directamente en la altura de las estructuras.
- Toda catenaria obtenida para terreno desnivelado es modelable mediante una catenaria de terreno llano.
- Las líneas eléctricas existentes poseen en sumatoria vanos en terreno llano.

**Herrajería cable de guarda.** Para el peso de la herrajería del cable de guarda se asume un valor general de 5,2 kg en cada estructura para efectos de diseño, aunque es una carga despreciable, se le considera criterio de diseño. El valor es un promedio de los valores de los materiales suministrados por Electro Córdoba SA

**Modelo electrogeométrico.** El cálculo del posicionamiento del cable de guarda fue realizado mediante el uso del modelo electrogeométrico debido a su facilidad para ser programable.

**Programa MATLAB 7.0.** Para la optimización de tiempo y esfuerzos y la oportunidad de abarcar cabalmente todas las condiciones requeridas, se realiza un programa sobre la plataforma de MATLAB, el cual tiene como finalidad realizar todos los cálculos eléctricos y mecánicos contemplados a la altura del proyecto y generar un reporte con los valores de las cargas mecánicas considerablemente críticas a las que esta sometida la estructura y son punto de partida del proceso civil del proyecto.

### **3.4 ESTRUCTURAS**

**3.4.1 Consideraciones constructivas.** Estos criterios van de acuerdo a la capacidad de producción y construcción de la Empresa, por tal, todo diseño a elaborar en cuanto a la altura de la estructura no debe superar los 40 m y una capacidad máxima de rotura en punta de 35000 kg. En lo referente a las crucetas, estas no deben superar una longitud total de 6 m. Todos los diseños de estructuras deben realizarse con variaciones de altura de cada 2 m y las crucetas con variaciones de cada 0,5 m.

**3.4.2 Criterio de selección.** La simplicidad fue el factor imperante en los diseños; diseñar estructuras que no brinden complicación extra en los montajes y puestas en marcha, estructuras que permitan el paso de los conductores sin requerir el uso de materiales alternos que encarezcan la línea, conservando al mismo tiempo la estética, las distancias mínimas de seguridad y las sollicitaciones mecánicas que debe soportar.

Las disposiciones más comunes en los niveles de tensión eléctrica de 230 y 115 kV son la triangular, doble circuito y horizontal, siendo esta última imposible de construir debido a su dificultad tanto en la longitud de la cruceta ya que sobrepasa la longitud permitida como en la simplicidad para permitir el paso de los conductores de un vano y la conservación de las distancias mínimas de seguridad entre conductores y estructura. Las disposiciones de estructuras diseñadas se encuentran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Diseños de estructuras establecidos

Tensión eléctrica (kV)	Estructura
230	Disposición doble circuito Disposición triangular
115	Disposición doble circuito Disposición triangular
34,5	Disposición vertical Disposición triangular

**3.4.3 Criterios de diseño.** En las estructuras de 230 kV y 115 kV, diseñadas con doble cable de guarda, la distancia entre la cruceta más alta de conductores y la cruceta de los cables de guarda se estableció como 2,5 y 2 m respectivamente, según lo referenciado en los modelos establecidos por Electrical Power Research Institute. De igual manera, en estos niveles de tensión eléctrica, la determinación del modelo de aislador a utilizar en los diseños involucra una serie de factores que afectan directa o indirectamente la longitud total de la cruceta de los cables de guarda. Dichos factores son:

- La tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50.
- El número de conductores por fase.
- El diámetro de cada conductor.
- La altura de la estructura.
- La distancia horizontal comprendida entre el eje vertical de la estructura y los conductores.
- La distancia comprendida entre la cruceta de los cables de guarda y la cruceta de los conductores más altos de la estructura.

Se pretende es diseñar una estructura que en lo posible pueda abarcar la gama más amplia de requerimientos, por lo tanto, es necesario seleccionar un modelo de aislador que conlleve a una mayor longitud de cruceta para los cables de guarda, asegurando con certeza la protección de la línea si la longitud de la eructa fuese menor.

Las figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 son simulaciones del comportamiento de la longitud de la cruceta de los cables de guarda en función de los factores mencionados, para una estructura diseñada doble circuito, en un ambiente con alta polución o contaminación salina a 115 kV. El comportamiento de las figuras

conserva es mismo patrón para otras estructuras a 115 y 230 kV con doble cable de guarda.

Las tablas 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13 muestran valores correspondientes a la tensión de soporte al impulso tipo rayo 1,2/50 de las cadenas de los aisladores utilizados en los diseños, así como la mínima longitud de cruceta que permite la cadena con su máximo ángulo de péndulo, todo lo anterior dependiendo de la altura sobre el nivel del mar.

La figura 3.1 muestra que para valores de alturas de estructuras comprendidas entre los 22 y 34 m, es viable diseñar estructuras cuya tensión soportada al impulso tipo rayo de la cadena de aisladores sea mayor a 600 kV; para las estructuras de 36, 38 y 40 m, la tensión soportada al impulso tipo rayo debe ser mayor a 670, 740 y 810 kV, respectivamente. Por consiguiente entre menor sea la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo, mayor será la posibilidad de diseñar estructuras de hasta 40 m, cumpliendo con lo establecido en la sección 3.4.1 del presente proyecto.

En la figura 3.2 se puede observar que a medida que aumenta la distancia horizontal entre le eje vertical de las estructuras y las fases, la longitud de la cruceta de los cables de guarda aumenta de la misma forma.

Figura 3.1. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y la altura de la estructura sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito

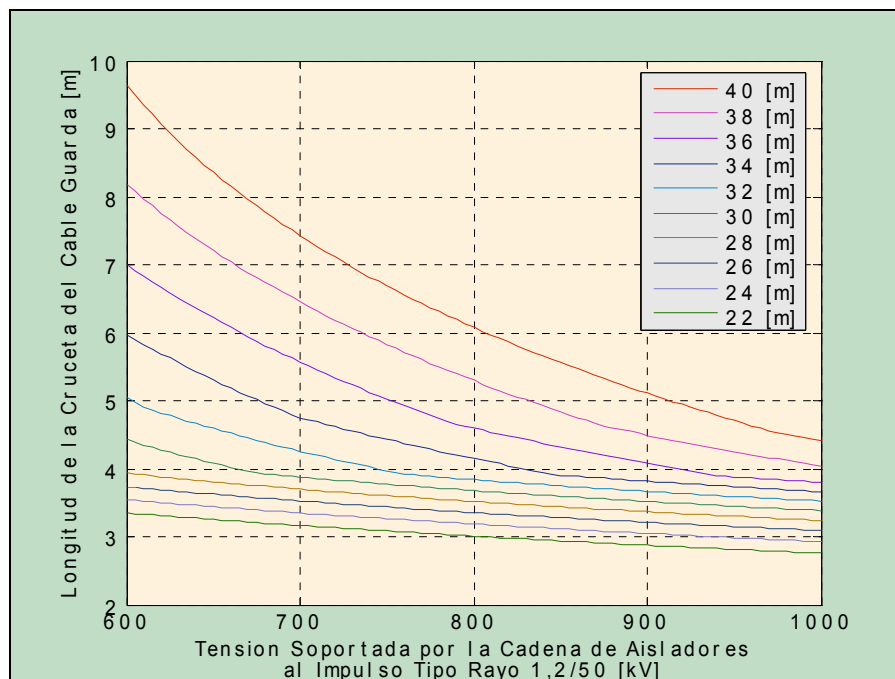


Figura 3.2. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y la distancia horizontal entre la fases y el eje vertical de la estructura sobre la longitud de la cruzeta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito

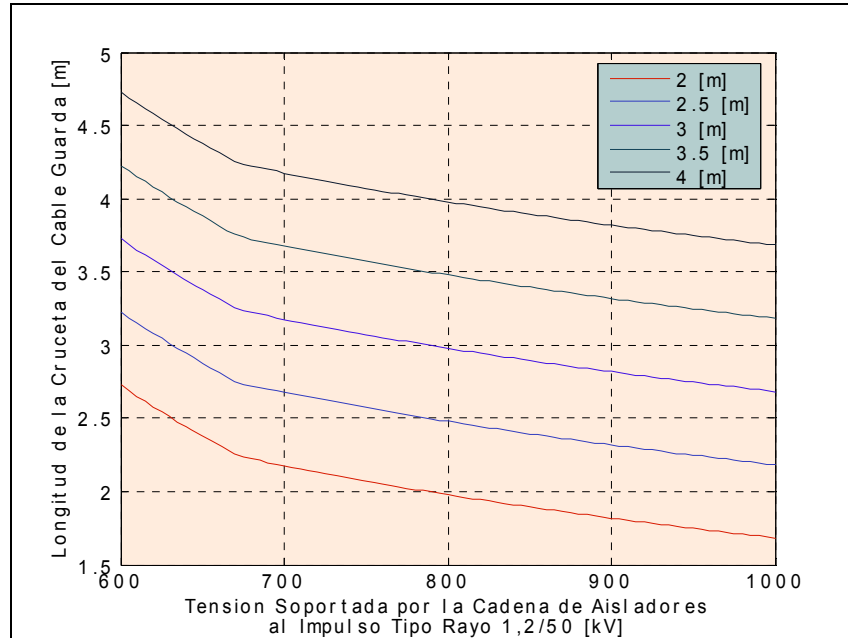
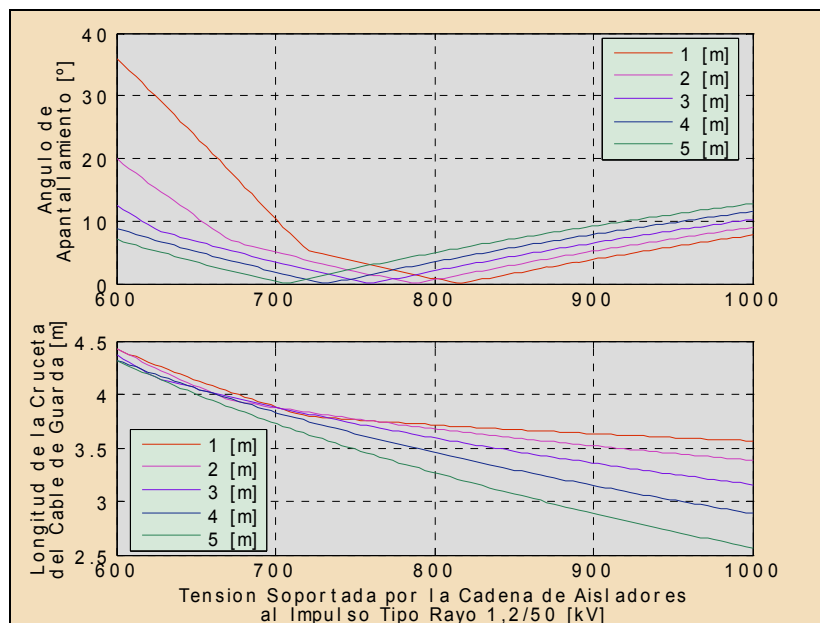


Figura 3.3. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y la distancia entre la cruzeta de los cables de guarda y la cruzeta adyacente de fases sobre la longitud de la cruzeta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito



Al determinar la longitud ideal de la cruceta de los cables de guarda, es necesario conservar lo escrito en la sección 2.4.9 del presente proyecto y mantener un ángulo máximo de apantallamiento de  $30^\circ$ . Según la figura 3.3, después de 810 kV de tensión soportada por la cadena de aisladores, no existe variación significativa en el ángulo de apantallamiento para las distancias estudiadas, sin embargo en la longitud de la cruceta del cable de guarda sucede lo contrario, a medida que aumenta la distancia entre las crucetas disminuye la longitud total de la cruceta de los cables de guarda.

En general, todas las distancias satisfacen las condiciones de diseño, salvo exista una distancia de 1 m donde se hace necesario que la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo sea mayor a 630 kV.

El diámetro nominal del conductor no presenta variación alguna o significativa en el análisis de la longitud de la cadena de aisladores y la selección del tipo de aislador en todos los diseños, según la figura 3.4.

En la figura 3.5, para valores de tensión soportada por la cadena de aisladores entre 600 y 720 kV, la diferencia en longitudes de cruceta de cables de guarda para un número de conductores por fase de 1 y 2 es del orden de 0,6 m, para valores de tensión mayores a 720 la diferencia es de 0,15 m. Dado que todos los valores de la gráfica satisfacen lo establecido en la sección 3.4.1 del presente proyecto, el criterio de diseño radica en seleccionar un número de conductores por fase que no presente variación significativa con otros.

Figura 3.4. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y el diámetro nominal del conductor sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito

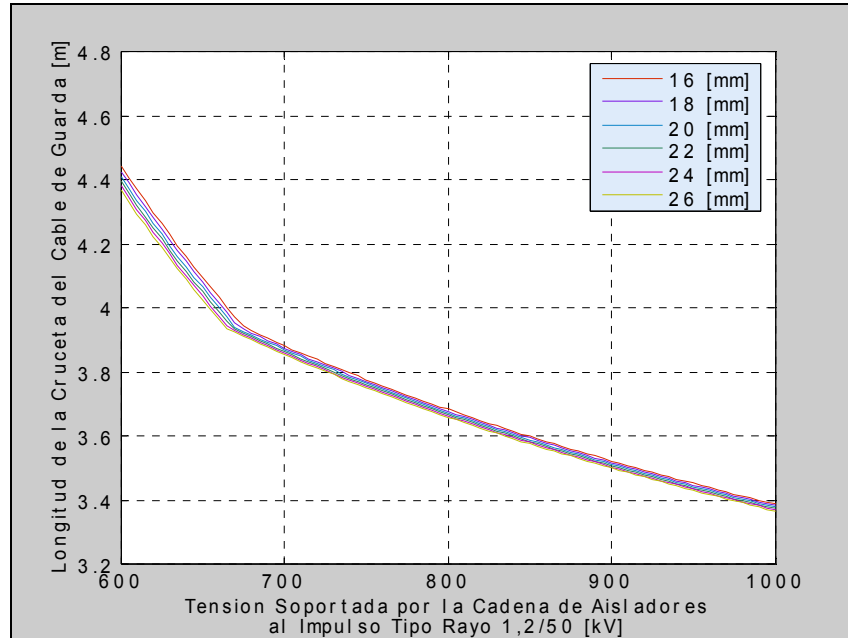


Figura 3.5. Incidencia de la tensión soportada por la cadena de aisladores al impulso tipo rayo 1,2/50 y el número de conductores por fase sobre la longitud de la cruceta para los cables de guarda en una estructura de 115 kV doble circuito

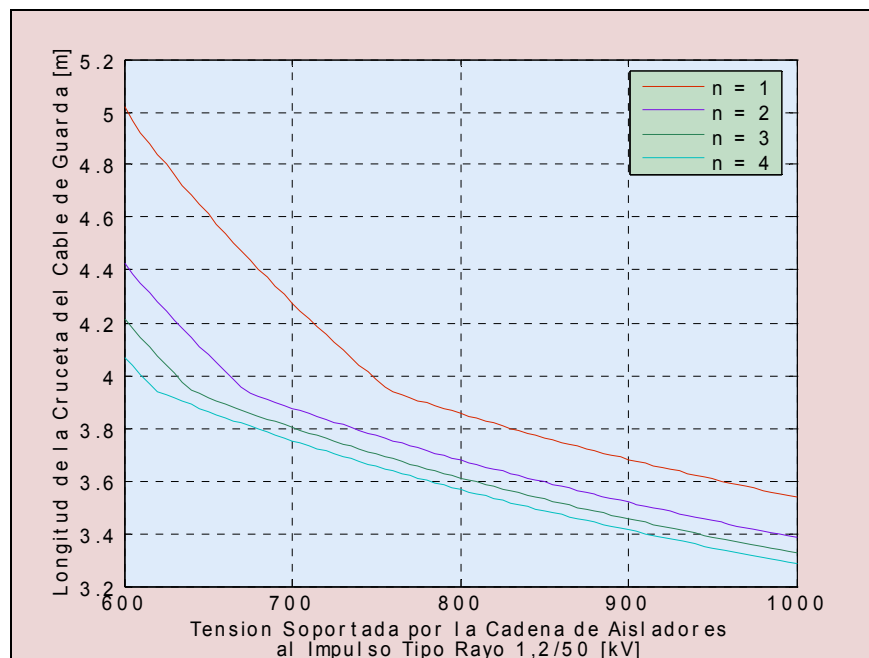


Tabla 3.8. Zonas agrícolas forestales 230 kV

Modelo	Número de aisladores	Longitud de la cadena (m)	0 m < hsnm ≤ 1000 m		1000 m < hsnm ≤ 2000 m		2000 m < hsnm ≤ 3000 m	
			Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)
U70BS E-70-127	16	2.53	4.58	1045	4.57	940.5	4.51	836
U70BL E-70-146	16	2.84	4.98	1165	5.01	1048.5	5.00	932
U100BS E-100-127	17	2.66	4.75	1105	4.76	994.5	4.73	884
U100BL E-100-146	17	2.98	5.16	1230	5.20	1107	5.22	984
U120BS E-120-146	17	2.98	5.16	1230	5.20	1107	5.22	984
U160BS E-160-146	14	2.54	4.59	1035	4.59	931.5	4.53	828
U160BL E-160-170	14	2.88	5.03	1140	5.06	1026	5.07	912
U210BS E-210-170	14	2.88	5.03	1140	5.06	1026	5.07	912
IEC E-240-170	14	2.88	5.03	1140	5.06	1026	5.07	912
U300B E-300-195	11	2.65	4.73	990	4.74	891	4.70	792

Tabla 3.9. Zonas con alta polución o contaminación salina para 230 kV

Modelo	Número de aisladores	Longitud de la cadena (m)	0 m < hsnm ≤ 1000 m		1000 m < hsnm ≤ 2000 m		2000 m < hsnm ≤ 3000 m	
			Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)
PA CIE E-100PP-146	19	3.27	5.51	1580	5.57	1422	5.61	1264
PA CIE E-120PP-146	19	3.27	5.51	1580	5.57	1422	5.61	1264
PA CIE E-160P-170	15	3.05	5.24	1450	5.29	1305	5.31	1160
PA U210BP E-210P-170	16	3.22	5.45	1540	5.50	1386	5.54	1232
PM CIE E-70P-127	21	3.17	5.38	1505	5.44	1354.5	5.47	1204
PM CIE E-100P-127	21	3.17	5.38	1505	5.44	1354.5	5.47	1204
PM CIE E-100P-146	21	3.57	5.85	1730	5.92	1557	5.99	1384
PM CIE E-120P-146	21	3.57	5.85	1730	5.92	1557	5.99	1384

Tabla 3.10. Zonas agrícolas o forestales para 115 kV

Modelo	Número de aisladores	Longitud de la cadena (m)	0 m < hsnm ≤ 1000 m		1000 m < hsnm ≤ 2000 m		2000 m < hsnm ≤ 3000 m	
			Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)
U70BS E-70-127	9	1,65	3,08	615	3,11	553,5	3,12	492
U70BL E-70-146	9	1,82	3,28	690	3,32	621	3,35	552
U100BS E-100-127	9	1,65	3,08	615	3,11	553,5	3,12	492
U100BL E-100-146	9	1,82	3,28	690	3,32	621	3,35	552
U120BS E-120-146	9	1,82	3,28	690	3,32	621	3,35	552
U160BS E-160-146	7	1,52	2,93	550	2,95	495	2,95	440
U160BL E-160-170	7	1,69	3,14	600	3,17	540	3,19	480
U210BS E-210-170	7	1,69	3,14	600	3,17	540	3,19	480
IEC E-240-170	7	1,69	3,14	600	3,17	540	3,19	480
U300B E-300-195	6	1,67	3,11	580	3,14	522	3,16	464

Tabla 3.11. Zonas con alta polución o contaminación salina para 115 kV

Modelo	Número de aisladores	Longitud de la cadena (m)	0 m < hsnm ≤ 1000 m		1000 m < hsnm ≤ 2000 m		2000 m < hsnm ≤ 3000 m	
			Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)
PA CIE E-100PP-146	10	1,96	3,45	855	3,49	769,5	3,53	684
PA CIE E-120PP-146	10	1,96	3,45	855	3,49	769,5	3,53	684
PA CIE E-160P-170	8	1,86	3,34	800	3,37	720	3,41	640
PA U210BP E-210P-170	8	1,86	3,34	800	3,37	720	3,41	640
PM CIE E-70P-127	11	1,90	3,38	815	3,42	733,5	3,45	652
PM CIE E-100P-127	11	1,90	3,38	815	3,42	733,5	3,45	652
PM CIE E-100P-146	11	2,11	3,61	935	3,66	841,5	3,70	748
PM CIE E-120P-146	11	2,11	3,61	935	3,66	841,5	3,70	748

Tabla 3.12. Zonas agrícolas forestales 34,5 kV

Modelo	Número de aisladores	Longitud de la cadena (m)	0 m < hsnm ≤ 1000 m		1000 m < hsnm ≤ 2000 m		2000 m < hsnm ≤ 3000 m	
			Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)
U70BS E-70-127	3	0.58	1.21	260	1.21	234	1.21	208
U70BL E-70-146	3	0.64	1.28	270	1.28	243	1.28	216
U100BS E-100-127	3	0.58	1.21	260	1.21	234	1.21	208
U100BL E-100-146	3	0.64	1.28	270	1.28	243	1.28	216
U120BS E-120-146	3	0.64	1.28	270	1.28	243	1.28	216
U160BS E-160-146	3	0.64	1.28	270	1.28	243	1.28	216
U160BL E-160-170	3	0.71	1.36	285	1.36	256.5	1.36	228
U210BS E-210-170	3	0.71	1.36	285	1.36	256.5	1.36	228
IEC E-240-170	3	0.71	1.36	285	1.36	256.5	1.36	228
U300B E-300-195	2	0.59	1.22	225	1.22	202.5	1.22	180

Tabla 3.13. Zonas con alta polución o contaminación salina para 34,5 kV

Modelo	Número de aisladores	Longitud de la cadena (m)	0 m < hsnm ≤ 1000 m		1000 m < hsnm ≤ 2000 m		2000 m < hsnm ≤ 3000 m	
			Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)	Mínima longitud de cruceta (m)	Tensión disruptiva (kV)
PA CIE E-100PP-146	4	0.78	1.45	390	1.45	351	1.45	312
PA CIE E-120PP-146	4	0.78	1.45	390	1.45	351	1.45	312
PA CIE E-160P-170	3	0.71	1.36	370	1.36	333	1.36	296
PA U210BP E-210P-170	3	0.71	1.36	370	1.36	333	1.36	296
PM CIE E-70P-127	4	0.71	1.36	340	1.36	306	1.36	272
PM CIE E-100P-127	4	0.71	1.36	340	1.36	306	1.36	272
PM CIE E-100P-146	4	0.78	1.45	390	1.45	351	1.45	312
PM CIE E-120P-146	4	0.78	1.45	390	1.45	351	1.45	312

El diseño de las estructuras debe abarcar de la forma más posible todas las condiciones mecánicas, eléctricas y topográficas a las que esté sometida, por ello y basado en el análisis de las gráficas y tablas anteriores, el tipo de aislador a utilizar en todos los diseños debe ser tal que cubra las condiciones que establecen los demás aisladores, es decir, un aislador con menor tensión de soporte al impulso tipo rayo satisface las condiciones que establezca un aislador con mayor tensión de soporte, por tanto, el aislador utilizado para los diseños de estructuras para ambientes con alta polución o contaminación salina es el modelo polución alta E-160P-170 el cual presenta además buena carga de rotura mecánica y peso características que lo hacen ideal para el diseño. De igual forma para ambientes forestales o agrícolas, el tipo de aislador a utilizar es el modelo estándar E-210-170 de la clase U210BS.

Las longitudes de crucetas y distancias verticales entre crucetas de las estructuras estandarizadas y aplicadas a los diseños según lo visto en las tablas anteriores para cada nivel de tensión eléctrica, están referenciadas en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Distancias y longitudes de crucetas estandarizadas

Tensión Eléctrica (kV)	Longitud de la cruceta de los conductores (m)	Longitud máxima de cadena de aisladores considerada (m)	Distancias verticales	
			Distancia entre crucetas de fase	Distancia entre cruceta de cables de guarda y cruceta siguiente de fases
230	5,75	3,5	Distancia entre crucetas de fase 5,75 m	Distancia entre cruceta de cables de guarda y cruceta siguiente de fases 2,5 m
	5,00	3,0	Distancia entre crucetas de fase 5,25 m	
115	3,70	2,2	Distancia entre crucetas de fase 3,4 m	Distancia entre cruceta de cables de guarda y cruceta siguiente de fases 2 m
	3,20	1,9	Distancia entre crucetas de fase 3,1 m	
34,5	2,00	0,8	Distancia entre crucetas de fase 1,5 m	Distancia entre cable de guarda y cruceta siguiente de fases 3,5 m

### 3.5 CONSIDERACIONES ADICIONALES DE DISEÑO

Recubrimiento del Concreto. El recubrimiento de concreto para los torones se especifica por tres razones a saber; resistencia a la corrosión, resistencia al impacto y el efecto de acuñamiento.

De la norma para postes de concreto pretensado se especifica un recubrimiento mínimo de 2,5 cm excepto para zonas costeras donde se incrementa a 3.0 cm.

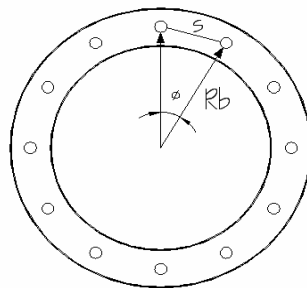
Espaciamiento de los Alambrones. El espaciamiento de los torones está gobernado por varios factores que son, facilidad para el paso del concreto, un mínimo de 1 ½ veces el tamaño máximo de los agregados, un mínimo de 3 veces el diámetro del acero, y mínimo 2.5 cm.

Como se ilustra en la Figura 3.6, el espaciamiento de los torones en una sección dada se determina así.

$$s = 2 \cdot R_b \cdot \text{sen} \left( \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.2)$$

$$s = 2 \cdot R_b \cdot \text{sen} \left( \frac{\pi}{N_o \text{ torones}} \right) \quad (3.3)$$

Figura 3.6. Espaciamiento de alambrones en una sección de tubo.



**3.5.1 Deformaciones máximas de la Estructura.** A pesar de que los postes en concreto pretensado poseen una gran flexibilidad sin comprometer su comportamiento estructural, es importante restringir las deformaciones de la estructura a rangos permitidos de tal manera que se eviten deformaciones

excesivas que den una imagen de inseguridad en la estructura. Para nuestro caso la norma de postes NTC 1329 restringe los valores máximos de deformación al 3% de la altura libre del elemento para elementos sometidos a cargas de servicio.

**3.5.2 Longitud de Empotramiento.** Es importante asignar un longitud de empotramiento a la estructura suficiente que permita que la estructura trabaje de acuerdo a los modelamientos realizados, permitiendo de esta manera que el suelo pueda adoptar las cargas sin que colapse, pero también cuidando que esta longitud no sea excesiva para no caer en sobre costos. Para definir la longitud de empotramiento, se aplicará la ecuación 3.4.

$$H1 = 0.1 \cdot H + 0,60 \quad (3.4)$$

Donde:

*H1* es la longitud de empotramiento, en m.

*H* es la longitud total del poste, en m.

**3.5.3 Conicidad de los Postes.** Para que los postes trabajen mejor y puedan asumir las diferentes cargas a lo largo su longitud, estos deben poseer una sección variable que permita asumir los reducidos efectos causados por las condiciones de carga en la cima, y también que puedan soportar los grandes momentos que se presenta a la altura del empotramiento, lo cual permite que el elemento diseñado sea lo mas económico posible, pero que a la vez sea capas de soportar los esfuerzos actuantes.

La conicidad es el incremento por metro lineal en la longitud del poste del diámetro de su sección transversal, desde la cima hasta la base. La conicidad utilizada para este proyecto esta restringida a la existente en las formaletas de Pretecor Ltda. La conicidad exterior de los postes es de 1.5 cm por cada metro lineal; la conicidad interior es de 1.2 cm/m.

**3.5.4 Diámetros Utilizados.** Las secciones de los portes están limitadas a las formaletas existentes en la planta de producción de Pretecor Ltda., lo anterior

teniendo en cuenta que los costos de adquisición de nuevas formaletas influyen determinantemente en el valor total de la estructura.

En la tabla 3.15 muestra los diámetros de la cima de los postes utilizados:

Tabla 3.15. Diámetro cima de los postes

$\Phi$ Exterior (cm)	$\Phi$ Interior (cm)
34,25	20
36,5	22
38,75	24
41	26

Los diámetro de la base están en función de los diámetros de la cima y de la longitud total de elemento, la siguiente ecuación muestra la forma de calculo para los diámetros en cualquier parte del elemento.

$$\phi_i = \phi_{cima} + Conicidad \cdot L_i \quad (3.5)$$

Donde:

$\Phi_i$  es el diámetro del poste hasta la sección en consideración, en m.

$L_i$  es la longitud medida desde la cima hasta la parte en consideración, en m.

$\Phi_{cima}$  es el diámetro de la cima, ya sea exterior o interior, en m.

Conicidad es la estudiada en la sección anterior.

**3.5.5 Programa Midas Gen.** Para la optimización de los cálculos estructurales se utilizó el programa MIDAS Gen. Licencia obtenida por Pretecor Ltda. para la realización del presente proyecto; el cual permite el rápido análisis de las diferentes variables que implican un análisis de esta magnitud. mediante este software se analizaron los efectos P- $\Delta$  para las diferentes condiciones de carga, además se utilizó para realizar un análisis sísmico, y para el cálculo de los efectos del viento sobre la estructura, para estos análisis se utilizando el código "UBC (1991)" el cual presenta los similares variables a las que presenta la NSR-98 en el capítulo A. mediante el programa se diseñaron los elementos estructurales simplemente reforzados, como son las crucetas, y los anillos de rigidez de la estructura, además se chequearon los elementos metálicos adicionales que poseen las estructuras.

El programa fue una herramienta esencial en el desarrollo del proyecto puesto que permite el fácil cambio de parámetros, la cómoda entrada de datos al mismo, y sobretodo el manejo de resultados utilizando hojas de calculo en Microsoft Excel, con su herramienta de macros que permite el ágil análisis de los diferentes parámetros.

## 4. CÁLCULO TIPO

### 4.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo permite analizar todo el proceso de cálculo para determinar las cargas mecánicas de diseño junto con el proceso de diseño estructural para una estructura triangular doble cable de guarda en un ambiente forestal o agrícola.

### 4.2 CÁLCULO MECÁNICO

El cálculo mecánico comprende para los aisladores, conductores y cables de guarda que ejercen carga sobre la estructura; carga que es determinada dentro del proceso final de la fase eléctrica del proyecto y forma parte inicial del proceso de diseño estructural de la parte civil.

#### 4.2.1 Datos de entrada.

Tabla 4.1. Datos de entrada muestra de cálculo

Datos de Entrada	
Tensión eléctrica (kV)	115
Disposición	Triangular doble cable de guarda
Estructura	Terminal
Conductores por fase	2
Conductor	Oriole
Cable de guarda	Alumoweld 7 - 7 AWG
Aislador	Estándar U210BS E-210-170
Altura sobre el nivel del mar (m)	1000
Velocidad máxima de viento (km/h)	130
Velocidad promedio de viento (km/h)	16
Temperatura mínima o coincidente (°C)	18
Temperatura máxima (°C)	75
Temperatura promedio (°C)	27
Vano regulador (m)	470
Vano real	360

## 4.2.2 Cálculo mecánico de los conductores.

### Módulo de elasticidad.

$$E = \frac{E_{al} \cdot h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + E_{ac} \cdot h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2}{h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.15

$E_{al}$  módulo de elasticidad del aluminio  $6.75 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ .

$E_{ac}$  módulo de elasticidad del acero  $22 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ .

$$E = \frac{(6.75 \times 10^3) \cdot (30) \cdot (2,69)^2 + (22 \times 10^3) \cdot (7) \cdot (2,69)^2}{(30) \cdot (2,69)^2 + (7) \cdot (2,69)^2}$$

$$E = 9,635 \times 10^3 \text{ kg / mm}^2$$

### Coefficiente de dilatación.

$$\alpha = \frac{\alpha_{al} \cdot E_{al} \cdot h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + \alpha_{ac} \cdot E_{ac} \cdot h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2}{E_{al} \cdot h_{al} \cdot \phi_{al}^2 + E_{ac} \cdot h_{ac} \cdot \phi_{ac}^2}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.14

$a_{al}$  coeficiente de dilatación del aluminio  $2,3 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

$a_{ac}$  coeficiente de dilatación del acero  $1,15 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

$$\alpha = \frac{(2,3 \times 10^{-5}) \cdot (6.75 \times 10^3) \cdot (30) \cdot (2,69)^2 + (1,15 \times 10^{-5}) \cdot (22 \times 10^3) \cdot (7) \cdot (2,69)^2}{(6.75 \times 10^3) \cdot (30) \cdot (2,69)^2 + (22 \times 10^3) \cdot (7) \cdot (2,69)^2}$$

$$\alpha = 1,803 \times 10^{-5} \text{ } 1 / ^\circ\text{C}$$

### Peso aparente.

$$w = \frac{q_c}{S}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.13

$$w = \frac{784,6 \cdot (1 \times 10^{-3})}{210,28}$$

$$w = 3,731 \times 10^{-3} \text{ kg / m mm}^2$$

### Presión de viento.

$$f_{vc} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot C_f \cdot C_l \cdot \frac{Q \cdot V_s^2 \cdot \phi_c}{2 \cdot g}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.20

$$F_{vc} = f_{vc} \cdot l_v$$

- Presión de viento en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$f_{vc} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,45) \cdot (0,6) \cdot \frac{(1,225) \cdot (130)^2 \cdot (18,83 \times 10^{-3})}{2 \cdot (9,8)}$$

$$f_{vc} = 1,333 \text{ kg / m}$$

- Presión de viento en hipótesis de operación diaria.

$$f_{vc} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,45) \cdot (0,6) \cdot \frac{(1,225) \cdot (16)^2 \cdot (18,83 \times 10^{-3})}{2 \cdot (9,8)}$$

$$f_{vc} = 0,020 \text{ kg / m}$$

- Presión de viento en hipótesis de máxima flecha.

$$f_{vc} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,45) \cdot (0,6) \cdot \frac{(1,225) \cdot (0)^2 \cdot (18,83 \times 10^{-3})}{2 \cdot (9,8)}$$

$$f_{vc} = 0$$

### **Peso total por unidad de longitud.**

$$pt = \sqrt{(q_c)^2 + (f_{vc})^2}$$

$q_c$  peso del conductor, en kg/m.

$f_{vc}$  presión del viento, en kg/mm.

- Peso total por unidad de longitud en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$pt = \sqrt{(784,6 \times 10^{-3})^2 + (1,333)^2}$$

$$pt = 1,547 \text{ kg / m}$$

- Peso total por unidad de longitud en hipótesis de operación diaria.

$$pt = \sqrt{(784,6 \times 10^{-3})^2 + (0,020)^2}$$

$$pt = 0,785 \text{ kg / m}$$

- Peso total por unidad de longitud en hipótesis de máxima flecha.

$$pt = \sqrt{(784,6 \times 10^{-3})^2 + (0)^2}$$

$$pt = 0,784 \text{ kg / m}$$

**Factor de corrección.**

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{f_{vc}}{q_c}\right)^2}$$

- Factor de corrección en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{1,333}{784,6 \times 10^{-3}}\right)^2}$$

$$m = 1,9722$$

- Factor de corrección en hipótesis de operación diaria.

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{0,020}{784,6 \times 10^{-3}}\right)^2}$$

$$m = 1,0003$$

- Factor de corrección en hipótesis de máxima flecha.

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{0}{784,6 \times 10^{-3}}\right)^2}$$

$$m = 1,0000$$

**Tensión mecánica de rotura por unidad de área.**

$$tr = \frac{\textit{tensión de rotura del conductor}}{\textit{área del conductor}} = \frac{7883}{210,28}$$

$$tr = 37,488 \text{ kg} / \text{mm}^2$$

**Tensión mecánica máxima por unidad de área.**

$$t_{max} = \frac{tr}{\textit{factor de seguridad mínimo}} = \frac{37,488}{2,5}$$

$$t_{max} = 14,995 \text{ kg} / \text{mm}^2$$

**Tensión mecánica en hipótesis de extremo trabajo mecánico.** De la hipótesis de extremo trabajo mecánico a la hipótesis de operación diaria.

$$t_1 = 14,995 \text{ kg / mm}^2$$

$$\theta_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_1 = 1,9722$$

$$\theta_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 1,0003$$

Aplicando los valores a la ecuación 2.10 y resolviendo por Newton Rapshon, se obtiene el valor de  $t_2$ .

$$t_2 = 8,6145 \text{ kg / mm}^2$$

$$fs = \frac{tr}{t_2} = \frac{37,488}{8,6145} = 4,351$$

El factor de seguridad para la hipótesis de operación diaria debe ser mayor a 6 según lo establecido en el capítulo 3, sección 3.3.4, por lo tanto la hipótesis inicial es errónea.

De la hipótesis de operación diaria a la hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$t_1 = \frac{37,488}{6} = 6,248 \text{ kg / mm}^2$$

$$\theta_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_1 = 1,0003$$

$$\theta_2 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 1,9722$$

Aplicando los valores a la ecuación 2.10 y resolviendo por Newton Rapshon, se obtiene el valor de  $t_2$ .

$$th_2 = 11,5273 \text{ kg / mm}^2$$

$$t_2 = 11,6572 \text{ kg / mm}^2$$

$$fs = \frac{tr}{t_2} = \frac{37,488}{11,6572} = 3,216$$

El factor de seguridad para la hipótesis de extremo trabajo mecánica debe ser mayor a 2,5 según lo establecido en el capítulo 3, sección 3.3.4, por lo tanto la hipótesis inicial es correcta y la máxima tensión mecánica horizontal a la que está sometido el conductor es de  $11,5273 \text{ kg/mm}^2$ .

Parámetro final de la hipótesis de extremo trabajo mecánico

$$h = \frac{th}{w}$$
$$h = \frac{11,5273}{1,9722 \cdot (3,731 \times 10^{-3})} = 1566,576 \text{ m}$$

**Tensión mecánica en hipótesis de operación diaria.**

$$t_1 = 11,6572 \text{ kg / mm}^2$$
$$\theta_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$m_1 = 1,9722$$
$$\theta_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$m_2 = 1,0003$$

Aplicando los valores a la ecuación 2.10 y resolviendo por Newton Rapshon, se obtiene el valor de  $t_2$ .

$$th_2 = 6,1859 \text{ kg / mm}^2$$
$$t_2 = 6,2482 \text{ kg / mm}^2$$

La tensión mecánica en operación diaria a la que está sometido el conductor es de  $6,2482 \text{ kg/mm}^2$ .

Parámetro final de la hipótesis de operación diaria

$$h = \frac{th}{w}$$
$$h = \frac{6,1859}{1,0003 \cdot (3,731 \times 10^{-3})} = 1657,476 \text{ m}$$

**Tensión mecánica y flecha en hipótesis de máxima flecha.**

$$t_1 = 11,6572 \text{ kg / mm}^2$$
$$\theta_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$m_1 = 1,9722$$
$$\theta_2 = 75 \text{ }^\circ\text{C}$$
$$m_2 = 1,0000$$

Aplicando los valores a la ecuación 2.10 y resolviendo por Newton Rapshon, se obtiene el valor de  $t_2$ .

$$th_2 = 5,5547 \text{ kg} / \text{mm}^2$$

$$t_2 = 5,6241 \text{ kg} / \text{mm}^2$$

$$h = \frac{th}{w}$$

$$h = \frac{5,5547}{(3,731 \times 10^{-3})} = 1488,797 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.17

$$f = h \cdot \cosh\left(\frac{x_m}{h}\right) \cdot \left[ \cosh\left(\frac{a}{2h}\right) - 1 \right]$$

$$x_m = 0$$

$$f = 1488,797 \cdot \left( \cosh\left(\frac{470}{2 \cdot (1488,797)}\right) - 1 \right) = 18,5864 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.16

La flecha máxima es de 18,5864 m.

### Peso total.

$$l = h \cdot \sinh\left(\frac{\text{vano real}}{2h}\right)$$

$$P = n \cdot q_c \cdot l$$

$n$  número de conductores por fase.

$q_c$  peso del conductor, en kg/m.

$l_p$  longitud del vano peso, en m.

- Peso total en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$l = 1566,576 \cdot \sinh\left(\frac{180}{1566,576}\right) = 180,396 \text{ m}$$

$$P = 2 \cdot (0,7846) \cdot (180,396) = 283,078 \text{ kg}$$

- Peso total en hipótesis de operación diaria.

$$l = 1657,476 \cdot \sinh\left(\frac{180}{1657,476}\right) = 180,354 \text{ m}$$

$$P = 2 \cdot (0,7846) \cdot (180,354) = 283,011 \text{ kg}$$

### Carga de viento.

$$F_{vc} = f_{vc} \cdot l_v \cdot n$$

$n$  número de conductores por fase.

$f_{vc}$  presión del viento, en kg/m.

$l_v$  longitud del vano viento, en m.

- Carga de viento en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$F_{vc} = 1,3333 \cdot (180,396) \cdot 2 = 481,044 \text{ kg}$$

- Carga de viento en hipótesis de operación diaria.

$$F_{vc} = 0,020 \cdot (180,354) \cdot 2 = 7,2729 \text{ kg}$$

### 4.2.3 Cálculo de aisladores.

#### Factor de seguridad.

$$C_s = \frac{T_r}{T}$$

$$C_s = \frac{T_r}{t \cdot S \cdot n}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.2

$T_r$  tensión mecánica de rotura del aislador 21414,04 kg.

$t$  tensión mecánica por unidad de área 11,6572 kg/mm<sup>2</sup>.

$S$  superficie del conductor 210,28 mm<sup>2</sup>.

$n$  número de conductores por fase, 2.

$$C_s = \frac{21414,04}{11,6572 \cdot (210,28) \cdot (2)} = 4,368$$

El factor de seguridad es mayor que 3 por lo tanto sólo es necesaria una cadena de aisladores.

#### Número de aisladores.

$$n_{ais} = \frac{V_{max} \cdot G_a}{L_f}$$

$$n = \frac{2 \cdot (123)}{38} = 6,47$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.1

El número de aisladores es 7.

### Longitud de la cadena de aisladores.

$$l_c = n_{ais} \cdot (h_{ais}) + h_{herr}$$

$n_{ais}$  número de aisladores, 7.

$h_{ais}$  altura del aislador 170 mm.

$h_{herr}$  altura de la cerrajería 500 mm.

$$l_c = 7 \cdot (170) + 500 = 1,690 \text{ m}$$

### Peso de la cadena de aisladores.

$$P_a = (n_c \cdot n_{ais} \cdot Q_a) + Q_e$$

$$P_a = 1 \cdot (7) \cdot (7,5) + 27,5 = 80 \text{ kg}$$

El peso de la herrajería es de 27,5 kg

Capítulo 2  
Ecuación 2.4

### Carga de viento.

$$F_{va} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot C_x \cdot \frac{Q \cdot V_s^2 \cdot \phi_a \cdot l_c}{2 \cdot g} \cdot n_c$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.4

- Carga de viento en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$F_{va} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,2) \cdot \frac{1,225 \cdot (130)^2 \cdot (0,28) \cdot (1,69)}{2 \cdot (9,8)} = 46,2611 \text{ kg}$$

- Carga de viento en hipótesis de operación diaria.

$$F_{va} = 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,2) \cdot \frac{1,225 \cdot (16)^2 \cdot (0,28) \cdot (1,69)}{2 \cdot (9,8)} = 0,700 \text{ kg}$$

### 4.2.4 Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre de las fases en hipótesis de extremo trabajo mecánico (véase capítulo 2, ecuaciones 2.55 a 2.58).

$$T_x = F_{va} + F_{vc} = 481,044 + 46,2611 = 527,285 \text{ kg}$$

$$T_y = n \cdot Th = 2 \cdot (11,5273) \cdot (210,28) = 4847,921 \text{ kg}$$

$$T_z = -(P + P_a) = -(283,078 + 80) = -363,078 \text{ kg}$$

#### 4.2.5 Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre de las fases en hipótesis de operación diaria (ver capítulo 2, ecuaciones 2.55 a 2.58).

$$\begin{aligned}T_x &= F_{va} + F_{vc} = 7,2729 + 0,7 = 7,9729 \text{ kg} \\T_y &= n \cdot Th = 2 \cdot (6,1859) \cdot (210,28) = 2601,542 \text{ kg} \\T_z &= -(P + P_a) = -(283,011 + 80) = -363,011 \text{ kg}\end{aligned}$$

#### 4.2.6 Cálculo mecánico para los cables de guarda.

##### Peso aparente del cable.

$$\begin{aligned}w &= \frac{q_c}{S} \\w &= \frac{481 \cdot (1 \times 10^{-3})}{73,87} \\w &= 6,511 \times 10^{-3} \text{ kg / m mm}^2\end{aligned}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.13

##### Presión del viento.

$$\begin{aligned}f_{vc} &= 7,716 \times 10^{-2} \cdot C_f \cdot C_l \cdot \frac{Q \cdot V_s^2 \cdot \phi_c}{2 \cdot g} \\F_{vc} &= f_{vc} \cdot l_v\end{aligned}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.20

- Presión de viento en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$\begin{aligned}f_{vc} &= 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,45) \cdot (0,6) \cdot \frac{(1,225) \cdot (130)^2 \cdot (11 \times 10^{-3})}{2 \cdot (9,8)} \\f_{vc} &= 0,7799 \text{ kg / m}\end{aligned}$$

- Presión de viento en hipótesis de operación diaria.

$$\begin{aligned}f_{vc} &= 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,45) \cdot (0,6) \cdot \frac{(1,225) \cdot (16)^2 \cdot (11 \times 10^{-3})}{2 \cdot (9,8)} \\f_{vc} &= 0,0118 \text{ kg / m}\end{aligned}$$

- Presión de viento en hipótesis de máxima flecha.

$$\begin{aligned}f_{vc} &= 7,716 \times 10^{-2} \cdot (1,45) \cdot (0,6) \cdot \frac{(1,225) \cdot (0)^2 \cdot (11 \times 10^{-3})}{2 \cdot (9,8)} \\f_{vc} &= 0\end{aligned}$$

### Peso total por unidad de longitud.

$$pt = \sqrt{(q_{cg})^2 + (f_{vc})^2}$$

$q_{cg}$  peso del cable, en kg/m.

$f_{vc}$  presión del viento, en kg/mm.

- Peso total en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$pt = \sqrt{(481 \times 10^{-3})^2 + (0,7799)^2}$$

$$pt = 0,9156 \text{ kg / m}$$

- Peso total en hipótesis de operación diaria.

$$pt = \sqrt{(481 \times 10^{-3})^2 + (0,0118)^2}$$

$$pt = 0,4811 \text{ kg / m}$$

- Peso total en hipótesis de máxima flecha.

$$pt = \sqrt{(481 \times 10^{-3})^2 + (0)^2}$$

$$pt = 0,481 \text{ kg / m}$$

### Factor de corrección.

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{f_{vc}}{q_{cg}}\right)^2}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.11

- Factor de corrección en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{0,7799}{481 \times 10^{-3}}\right)^2}$$

$$m = 1,9036$$

- Factor de corrección en hipótesis de operación diaria.

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{0,0118}{481 \times 10^{-3}}\right)^2}$$

$$m = 1,0003$$

- Factor de corrección en hipótesis de máxima flecha.

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{0}{481 \times 10^{-3}}\right)^2}$$

$$m = 1,0000$$

**Tensión mecánica de rotura por unidad de área.**

$$tr = \frac{\textit{tensión de rotura del cable}}{\textit{área del cable}} = \frac{8481}{73,87}$$

$$tr = 114,809 \text{ kg} / \textit{mm}^2$$

**Tensión mecánica máxima.**

$$t_{max} = \frac{tr}{\textit{factor de seguridad mínimo}} = \frac{114,809}{2,5}$$

$$t_{max} = 45,9236 \text{ kg} / \textit{mm}^2$$

**Tensión mecánica en hipótesis de extremo trabajo mecánico.** De la hipótesis de extremo trabajo mecánico a la hipótesis de operación diaria.

$$t_1 = 45,9236 \text{ kg} / \textit{mm}^2$$

$$\theta_1 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_1 = 1,9036$$

$$\theta_2 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 1,0003$$

Aplicando los valores a la ecuación 2.10 y resolviendo por Newton Rapshon, se obtiene el valor de  $t_2$

$$t_2 = 37,6178 \text{ kg} / \textit{mm}^2$$

$$fs = \frac{tr}{t_2} = \frac{114,809}{37,6178} = 3,052$$

El factor de seguridad para la hipótesis de operación diaria debe ser mayor a 6,5 según lo establecido en el capítulo 3, sección 3.3.4, por lo tanto la hipótesis inicial es errónea.

De la hipótesis de operación diaria a la hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$t_1 = \frac{114,809}{6,5} = 17,663 \text{ kg / mm}^2$$

$$\theta_1 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_1 = 1,0003$$

$$\theta_2 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 1,9036$$

Aplicando los valores a la ecuación 2.10 y resolviendo por Newton Rapshon, se obtiene el valor de  $t_2$ .

$$th_2 = 28,0567 \text{ kg / mm}^2$$

$$t_2 = 28,2081 \text{ kg / mm}^2$$

$$fs = \frac{tr}{t_2} = \frac{114,809}{28,2081} = 4,07$$

El factor de seguridad para la hipótesis de extremo trabajo mecánica debe ser mayor a 2,5 según lo establecido en el capítulo 3, sección 3.3.4, por lo tanto la hipótesis inicial es correcta y la máxima tensión mecánica horizontal a la que está sometido el cable de guarda es de  $28,0567 \text{ kg/mm}^2$ .

Parámetro final de la hipótesis de extremo trabajo mecánico

$$h = \frac{th}{w}$$

$$h = \frac{28,0567}{1,9036 \cdot (6,511 \times 10^{-3})} = 2263,67 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.17

**Tensión mecánica en hipótesis de operación diaria.**

$$t_1 = 28,2081 \text{ kg / mm}^2$$

$$\theta_1 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_1 = 1,9036$$

$$\theta_2 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 1,0003$$

Aplicando los valores a la ecuación 2.10 y resolviendo por Newton Rapshon, se obtiene el valor de  $t_2$ .

$$th_2 = 17,5978 \text{ kg / mm}^2$$

$$t_2 = 17,664 \text{ kg / mm}^2$$

La tensión mecánica horizontal en operación diaria a la que está sometido el cable de guarda es de  $17,5978 \text{ kg/mm}^2$ .

Parámetro final de la hipótesis de operación diaria

$$h = \frac{th}{w}$$

$$h = \frac{17,5978}{1,0003 \cdot (6,511 \times 10^{-3})} = 2701,969 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.17

**Tensión mecánica y flecha en hipótesis de máxima flecha.**

$$t_1 = 11,6572 \text{ kg / mm}^2$$

$$\theta_1 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_1 = 1,9722$$

$$\theta_2 = 75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 1,0000$$

$$th_2 = 15,0310 \text{ kg / mm}^2$$

$$t_2 = 15,1089 \text{ kg / mm}^2$$

$$h = \frac{th}{w}$$

$$h = \frac{15,0310}{(6,511 \times 10^{-3})} = 2308,555 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.17

$$f = h \cdot \cosh\left(\frac{x_m}{h}\right) \cdot \left[ \cosh\left(\frac{a}{2 \cdot h}\right) - 1 \right]$$

$$x_m = 0$$

$$f = 2308,555 \cdot \left( \cosh\left(\frac{470}{2 \cdot (2308,555)}\right) - 1 \right) = 11,971 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.16

La flecha máxima es de  $11,971 \text{ m}$ , cumpliendo con lo establecido en el capítulo 2, sección 2.4.3.

**Peso total.**

$$l = h \cdot \sinh\left(\frac{\text{vano real}}{2h}\right)$$

$$P = q_c \cdot l$$

$q_{cg}$  peso del cable, en kg/m.

$l_p$  longitud del vano peso, en m.

- Peso del cable de guarda en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$l = 2263,67 \cdot \sinh\left(\frac{180}{2263,67}\right) = 180,189 \text{ m}$$

$$P = (0,481) \cdot (180,189) + 5,2 = 91,871 \text{ kg}$$

- Peso del cable de guarda en hipótesis de operación diaria.

$$l = 2701,969 \cdot \sinh\left(\frac{180}{2701,969}\right) = 180,133 \text{ m}$$

$$P = (0,481) \cdot (180,133) + 5,2 = 91,844 \text{ kg}$$

El valor de 5,2, es el valor estimado para el peso de la herrajería del cable de guarda.

### Carga de viento.

$$F_{vc} = f_{vc} \cdot l_v$$

$f_{vc}$  presión del viento, en kg/m.

$l_v$  longitud del vano viento, en m.

- Carga de viento en hipótesis de extremo trabajo mecánico.

$$F_{vc} = 0,7799 \cdot (180,189) = 140,53 \text{ kg}$$

- Carga de viento en hipótesis de operación diaria.

$$F_{vc} = 0,0118 \cdot (180,133) = 2,126 \text{ kg}$$

### 4.2.7 Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre del cable de guarda en hipótesis de extremo trabajo mecánico (véase capítulo 2, ecuaciones 2.55 a 2.58).

$$T_x = F_{vc} = 140,53 \text{ kg}$$

$$T_y = Th = (28,0567) \cdot (73,87) = 2072,548 \text{ kg}$$

$$T_z = -P = -91,871 \text{ kg}$$

**4.2.8 Tensión mecánica resultante en cada punto de amarre del cable de guarda en hipótesis de operación diaria (véase capítulo 2, ecuaciones 2.55 a 2.58).**

$$T_x = F_{vc} = 2,128 \text{ kg}$$

$$T_y = Th = (17,5978) \cdot (73,87) = 1299,95 \text{ kg}$$

$$T_z = -P = -91,844 \text{ kg}$$

**4.2.9 Ubicación del cable de guarda en estructura de retención y terminal. Si el voltaje de flameo de la cadena de aisladores es de 600 kV y la altura de la estructura es de 34 m.**

**Altura libre de la estructura.**

$$h_l = h_t - h_{emp}$$

$$h_l = h_t - h_t \cdot 0,1 - 0,6$$

$h_l$  altura libre, en m.

$h_t$  altura total, en m.

$h_{emp}$  altura de empotramiento, en m.

$$h_l = 34 - 0,1(34) - 0,6$$

$$h_l = 30 \text{ m}$$

**Altura de la cruceta del cable de guarda.** Manteniendo libre una distancia de 20 cm desde la punta de la estructura hacia la cruceta del cable de guarda, está estaría ubicada a una altura de 29,8 m.

**Altura de las crucetas de fase.** Según lo mencionado en la tabla 3.14, la distancia entre la cruceta de guarda y la cruceta de fase inferior es 2 m, por lo tanto la altura de las crucetas de las fases son 27,8 y 24,7 m.

**Altura promedio de los conductores en la estructura**

$$h_p = \frac{\sum_{i=1}^k h_i}{k}$$

$h_p$  altura promedio de los conductores, en m.

$h_i$  altura de cada punto de amarre de los conductores en la estructura, en m.

$k$  número de puntos de amarre de los conductores en la estructura, en m.

$$h_p = \frac{27,8 + 24,7 + 24,7}{3} = 25,733 \text{ m}$$

**Radio corona.**

$$r_c = \left( 0,1434 \left( \frac{V_f}{1500} \right)^{1,137} \right) \cdot \left( \frac{100}{h} \right)^{0,2139} \left( \frac{V_f}{1500} \right)^{0,3109}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.28

$$r_c = \left( 0,1434 \left( \frac{600}{1500} \right)^{1,137} \right) \cdot \left( \frac{100}{25,733} \right)^{0,2139} \left( \frac{600}{1500} \right)^{0,3109}$$

$$r_c = 6,29 \text{ cm}$$

**Radio equivalente.**

$$R_b = \frac{d}{2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{\pi}{n} \right)}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.27

$$R_b = \frac{0,457}{2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{\pi}{2} \right)} = 22,85 \text{ cm}$$

$$r_e = \left( n \cdot r \cdot R_b^{n-1} \right)^{1/n}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.26

$$r_e = \left( 2 \cdot (9,4 \times 10^{-3}) \cdot (22,85) \right)^{1/2} = 6,56 \text{ cm}$$

**Impedancia característica.**

$$Z_s = 60 \cdot \sqrt{\ln \left( \frac{2 \cdot h}{r_c} \right) \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot h}{r_e} \right)}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.25

$$Z_s = 60 \cdot \sqrt{\ln \left( \frac{2 \cdot (25,733)}{0,0629} \right) \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot (25,733)}{0,0656} \right)} = 401,149 \ \Omega$$

### Corriente de descarga mínima.

$$I_{min} = \frac{2 \cdot V_f}{Z_s}$$

$$I_{min} = \frac{2 \cdot (600)}{401,149}$$

$$I_{min} = 2,9914 \text{ kA}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.29

### Radio de atracción de los conductores.

$$S = 10 \cdot I_{min}^{0,65}$$

$$S = 10 \cdot (2,9914)^{0,65}$$

$$S = 20,3854 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.30

### Distancia de atracción del terreno.

$$\beta = 1,04 - 0,00036 \cdot V_{max}$$

$$\beta = 1,04 - 0,00036 \cdot (123)$$

$$\beta = 0,9957$$

$$S_T = \beta \cdot S = 0,9957 \cdot (20,3854) = 20,2981 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.31

### Punto de intersección del radio de atracción del cable de guarda con el radio de atracción de la primera fase.

$$(x_p - x_\phi)^2 + (\beta \cdot S - y_\phi)^2 = S^2$$

$$(x_p - 3,2)^2 + (20,2981 - 27,8)^2 = 20,3854^2$$

$$x_p = 22,1548 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.32

### Punto de intersección del radio de atracción del cable de guarda con los radios de tracción de la segunda y tercera fase.

$$(x_p - x_\phi)^2 + (\beta \cdot S - y_\phi)^2 = S^2$$

$$(x_p - 3,2)^2 + (20,2981 - 24,7)^2 = 20,3854^2$$

$$x_p = 23,1045 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.32

Por lo tanto el máximo punto de intersección que debe proteger el cable de guarda es 23,1045 m.

**Longitud de la cruceta del cable de guarda.**

$$(x_p - x_g)^2 + (\beta \cdot S - y_g)^2 = S^2$$

$$(23,1045 - x_g)^2 + (20,2981 - 29,8)^2 = 20,3854^2$$

$$x_g = 5,069 \text{ m}$$

**4.2.10 Ubicación del cable de guarda en estructura de suspensión.**

Conservando los parámetros establecidos en el numeral 4.2.10 y asumiendo que la máxima longitud de cadena de aisladores encontrada en un ambiente forestal a 115 kV es 1,9 m.

**Altura libre de la estructura.**

$$h_l = h_t - h_{emp}$$

$$h_l = h_t - h_t \cdot 0,1 - 0,6$$

$h_l$  altura libre, en m.

$h_t$  altura total, en m.

$h_{emp}$  altura de empotramiento, en m.

$$h_l = 34 - 0,1 \cdot (34) - 0,6$$

$$h_l = 30 \text{ m}$$

**Altura de la cruceta del cable de guarda.** Manteniendo libre una distancia de 20 cm desde la punta de la estructura hacia la cruceta del cable de guarda, está estaría ubicada a una altura de 29,8 m.

**Altura de las crucetas de fase.** Según lo mencionado en la tabla 3.14, la distancia entre la cruceta de guarda y la cruceta de fase inferior es 2 m, por lo tanto la altura de las crucetas de las fases son 27,8 y 24,7 m.

**Altura promedio de los conductores en la estructura**

Los conductores están ubicados a una altura igual a la altura de la estructura menos la longitud máxima considerada para la cadena de aisladores.

$$h_p = \frac{\sum_{i=1}^k h_i}{k}$$

$h_p$  altura promedio de los conductores, en m.

$h_i$  altura de cada punto de amarre de los conductores en la estructura, en m.

$k$  número de puntos de amarre de los conductores en la estructura, en m.

$$h_p = \frac{25,9 + 22,8 + 22,8}{3} = 23,833 \text{ m}$$

**Radio corona.**

$$r_c = \left( 0,1434 \left( \frac{V_f}{1500} \right)^{1,137} \right) \cdot \left( \frac{100}{h} \right)^{0,2139} \left( \frac{V_f}{1500} \right)^{0,3109}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.28

$$r_c = \left( 0,1434 \left( \frac{600}{1500} \right)^{1,137} \right) \cdot \left( \frac{100}{23,833} \right)^{0,2139} \left( \frac{600}{1500} \right)^{0,3109}$$

$$r_c = 6,37 \text{ cm}$$

**Radio equivalente.**

$$R_b = \frac{d}{2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{\pi}{n} \right)}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.27

$$R_b = \frac{0,457}{2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{\pi}{2} \right)} = 22,85 \text{ cm}$$

$$r_e = (n \cdot r \cdot R_b^{n-1})^{1/n}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.26

$$r_e = (2 \cdot (9,4 \times 10^{-3}) \cdot (22,85))^{1/2} = 6,56 \text{ cm}$$

**Impedancia característica.**

$$Z_s = 60 \cdot \sqrt{\ln \left( \frac{2 \cdot h}{r_c} \right) \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot h}{r_e} \right)}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.25

$$Z_s = 60 \cdot \sqrt{\ln \left( \frac{2 \cdot (25,733)}{0,0637} \right) \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot (25,733)}{0,0656} \right)} = 396,177 \ \Omega$$

**Corriente de descarga mínima.**

$$I_{min} = \frac{2 \cdot V_f}{Z_s}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.29

$$I_{min} = \frac{2 \cdot (600)}{396,177}$$

$$I_{min} = 3,0289 \text{ kA}$$

### Radio de atracción de los conductores.

$$S = 10 \cdot I_{min}^{0,65}$$

$$S = 10 \cdot (3,0289)^{0,65}$$

$$S = 20,5513 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.30

### Distancia de atracción del terreno.

$$\beta = 1,04 - 0,00036 \cdot V_{max}$$

$$\beta = 1,04 - 0,00036 \cdot (123)$$

$$\beta = 0,9957$$

$$S_T = \beta \cdot S = 0,9957 \cdot (20,5513) = 20,4633 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.31

### Punto de intersección del radio de atracción del cable de guarda con el radio de atracción de la primera fase.

$$(x_p - x_\phi)^2 + (\beta \cdot S - y_\phi)^2 = S^2$$

$$(x_p - 3,2)^2 + (20,4633 - 25,9)^2 = 20,5513^2$$

$$x_p = 23,0191 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.32

### Punto de intersección del radio de atracción del cable de guarda con los radios de tracción de la segunda y tercera fase.

$$(x_p - x_\phi)^2 + (\beta \cdot S - y_\phi)^2 = S^2$$

$$(x_p - 3,2)^2 + (20,4633 - 22,8)^2 = 20,5513^2$$

$$x_p = 23,618 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.32

Por lo tanto el máximo punto de intersección que debe proteger el cable de guarda es 23,618 m.

### Longitud de la cruceta del cable de guarda.

$$(x_p - x_g)^2 + (\beta \cdot S - y_g)^2 = S^2$$

$$(23,618 - x_g)^2 + (20,4633 - 29,8)^2 = 20,5513^2$$

$$x_g = 5,31 \text{ m}$$

Capítulo 2  
Ecuación 2.33

**4.2.11 Longitud de la cruceta de guarda para tipo de estructura.** El apantallamiento total sucede cuando el radio de atracción del cable de guarda protege completamente el radio de atracción de los conductores, por tal, para que exista apantallamiento total se necesita una longitud de cruceta de guarda mayor a la calculada. La longitud de cruceta del cable de guarda establecida para el presente cálculo es 5,5 m, ya que satisface las consideraciones constructivas planteadas en la sección 3.4.1 y la simetría dimensional en las estructuras de retención, terminal y suspensión.

## 4.3 DISEÑO ESTRUCTURAL

**4.3.1 Datos de entrada datos.** Las cargas mecánicas utilizadas para el presente cálculo tipo son las siguientes (obtenidas con el programa elaborado en MATLAB 7.0 y comparadas con la muestra del cálculo mecánico anterior):

-----  
-----  
Parámetros preliminares de diseño para 19 toneladas de carga de rotura  
-----  
-----

a) Tensión normal resultante en cada punto de amarre de las fases en condición extrema [Tx Ty Tz] [527.5 4848 -363] [kg]

b) Tensión normal resultante en cada punto de amarre del cableado de guarda en condición extrema [Tx Ty Tz] [140.4 2072.6 -91.8] [kg]

c) Tensión normal resultante en cada punto de amarre de las fases en condición diaria [Tx Ty Tz] [8 2601.6 -363] [kg]

d) Tensión normal resultante en cada punto de amarre del cableado de guarda en condición diaria [Tx Ty Tz] [2.2 1300 -91.8] [kg]

Ruta de diseño preestablecida Route\_360\_360\_phvano(470)\_1000\_34

Además de las cargas mecánicas la estructura esta diseñada para los efectos producidos por un viento de 130 KPH, y un sismo correspondiente a una zona de amenaza sísmica alta con aceleración pico efectiva ( $A_a$ ) de 0,40 según la NSR-98.

**4.3.2 Geometría general de la estructura.** La estructura la cual hace referencia el presente cálculo tipo consta de 3 postes, cada uno con una longitud total de 26 m, una cruceta para los cables de guarda, dos crucetas para los conductores y dos anillos de rigidez para disminuir los momentos actuantes sobre la estructura. En las figuras 4.1 y 4.2 se muestran la configuración de la estructura modelada mediante el programa MIDAS Gen.

Figura 4.1. Disposición de la estructura

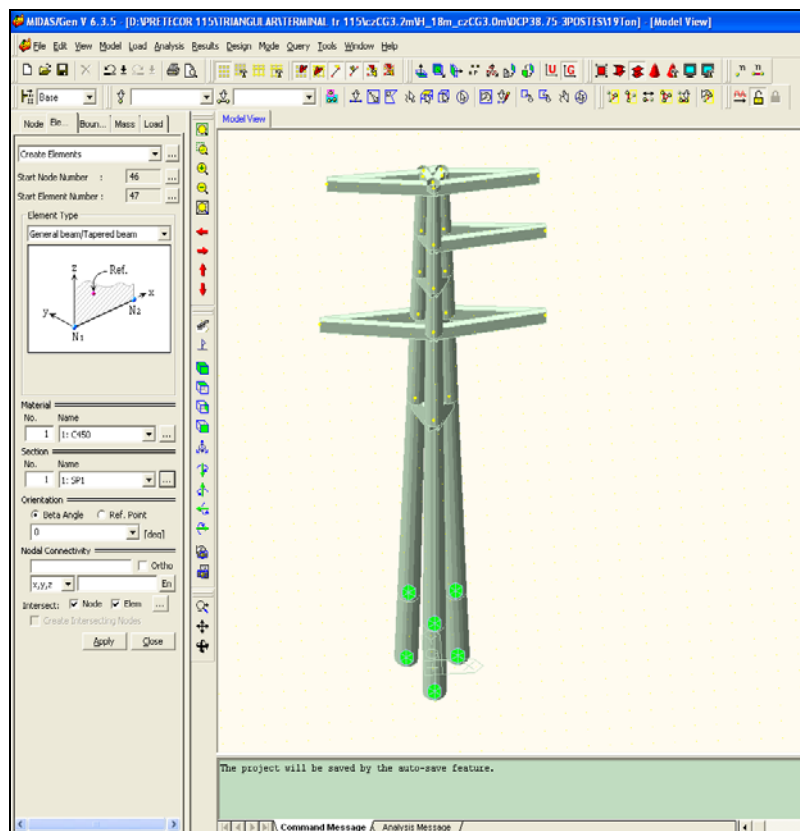
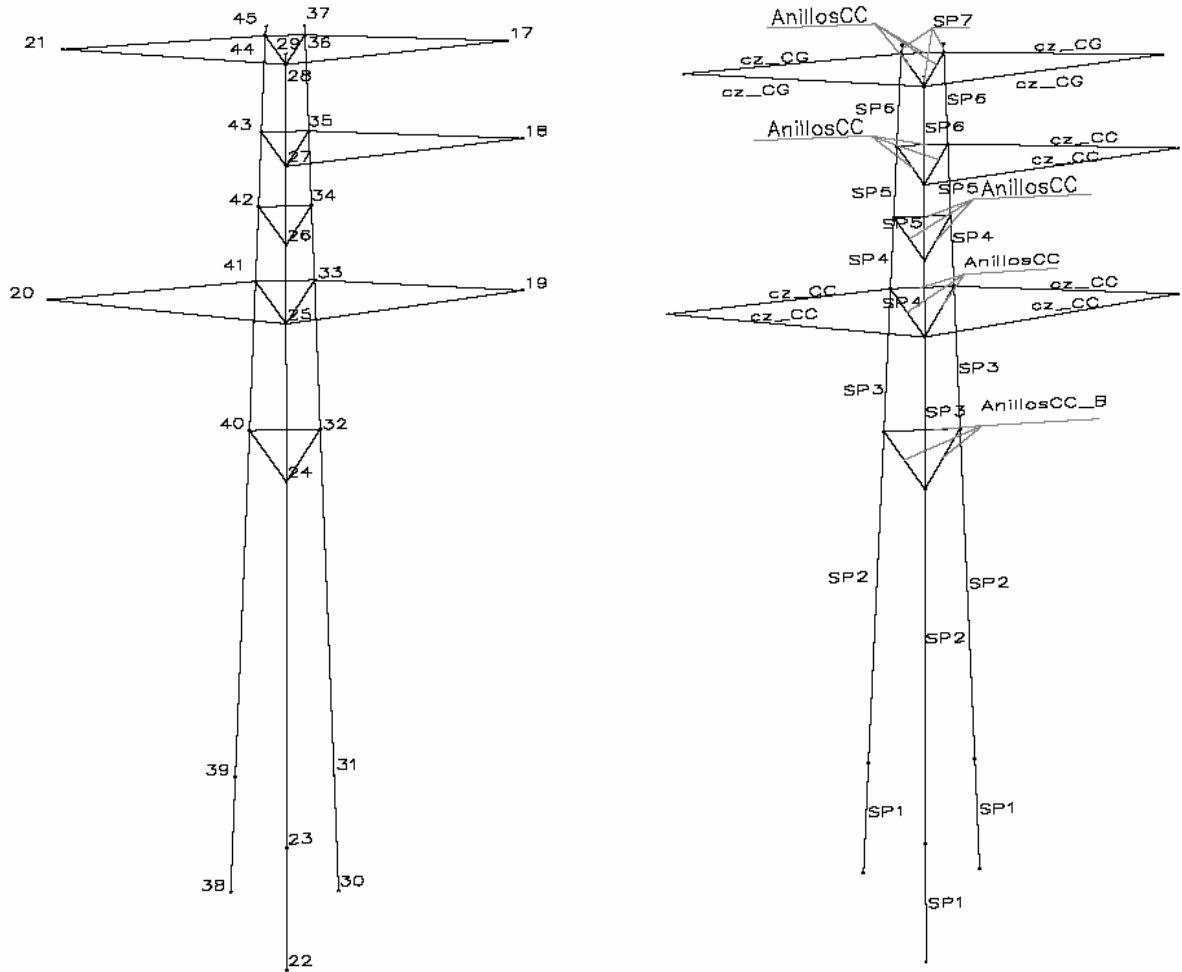


Figura 4.2. Nodos y elementos estructurales modelados.



Los postes están modelados con secciones variables las cuales depende de la distancia existente entre la cima y la sección en consideración de acuerdo a la definición de conicidad expresada en el glosario, en la siguiente tabla se presenta las diferentes secciones utilizadas para modelar la estructura.

#### Cálculo de diámetros

$$D \text{ ext Nodo } 22 \text{ (cm)} = D \text{ ext Nodo } 29 \text{ (cm)} + \text{Long (m)} * \text{conicidad (cm/m)}$$

$$D \text{ ext Nodo } 22 = 38.75 + 26.0117 * 1.5 = 77.768 \text{ cm}$$

Tabla 4.2. Geometría secciones de los postes modelados en MIDAS Gen

Sección postes	Elementos modelados	Nodo			Secciones			Longitudes	
		Poste 1	Poste 2	Poste 3	Diámetro exterior (cm)	Espesor (cm)	Diámetro interior (cm)	Longitud acumulada (m)	Longitud sección (m)
SP 7	7,14,21	29	37	45	38,750	7,375	24,000	26,012	0,200
		28	36	44	39,050	7,405	24,240	25,812	
SP 6	6,13,20	28	36	44	39,050	7,405	24,240	25,812	2,000
		27	35	43	42,051	7,705	26,641	23,811	
SP 5	5,12,19	27	35	43	42,051	7,705	26,641	23,811	1,550
		26	34	42	44,378	7,938	28,502	22,260	
SP 4	4,11,18	26	34	42	44,378	7,938	28,502	22,260	1,550
		25	33	41	46,704	8,170	30,363	20,709	
SP 3	3,10,17	25	33	41	46,704	8,170	30,363	20,709	3,100
		24	32	40	51,356	8,636	34,085	17,608	
SP 2	2,9,16	24	32	40	51,356	8,636	34,085	17,608	14,400
		23	31	39	72,965	10,797	51,372	3,201	
SP 1	1,8,15	23	31	39	72,965	10,797	51,372	3,201	3,200
		22	30	38	77,768	11,277	55,214	0,000	

Los postes que constituyen la estructura analizada en el presente capítulo están conformados por dos secciones unidas mediante una brida; la cual debe estar en capacidad de soportar las cargas a las cuales se está sometida la estructura. El estudio, análisis y selección de las características mecánicas de las bridas se debe desarrollar en un estudio adicional al presente proyecto.

Figura 4.3. Conformación real de los postes

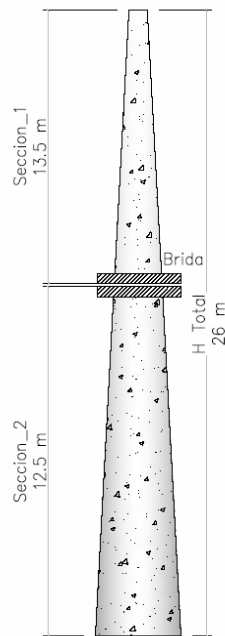


Tabla 4.3. Geometría de las crucetas para el cable de guarda Modeladas en MIDAS Gen

Sección	Elementos modelados	Nodos		Secciones		Longitud (m)
		i	j	Base (cm)	Altura (cm)	
cz_CG	28	28	17	20	40	3,02
	30	28	21			
	29	36	17			2,74
	31	44	21			
Anillos CG	32	44	28	20	50	0,54
	33	28	36			
	34	36	44			

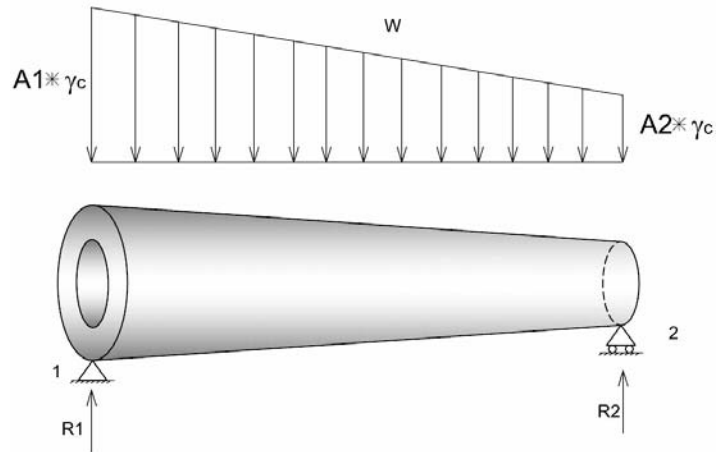
Tabla 4.4. Geometría de las crucetas para conductores

Sección	Elementos modelados	Nodos		Secciones		Longitud (m)
		i	j	Base (cm)	Altura (cm)	
cz_CC	22	25	19	20	40	3,23
	27	25	20			
	23	33	19			2,81
	26	41	20			
	24	27	18			
	25	35	18			
A_CC	38	41	25	25	60	0,80
	39	25	33			
	40	33	41			
	41	42	26			0,71
	42	26	34			
	43	34	42			
	35	43	27			
	36	27	35			
37	35	43	0,64			
A_CC_B	44	40	24	30	70	0,95
	45	24	32			
	46	32	40			

**4.3.3 Análisis de las condiciones de carga.** Un diseño de este tipo consiste en un proceso iterativo, en el cual se debe analizar los diferentes casos de carga, donde varían tanto las secciones como el refuerzo suministrado a medida que el proceso va concluyendo; para el presente análisis se optó por presentar los refuerzos definitivos a los cuales se llegó inmediatamente después de realizar el proceso de diseño. El refuerzo obtenido para la estructura se presenta en el Anexo 1.

**Transferencia del preesfuerzo.** Cuando el poste haya alcanzado un 65% de su resistencia última se realiza la transferencia del preesfuerzo al concreto, mediante el corte de los anclajes, permitiendo que de esta forma se produzcan las pérdidas debido al acortamiento elástico del concreto. El poste es colocado sobre los bordes de la formaleta trabajando como un elemento simplemente apoyado.

Figura 4.4. Estado de carga para el momento de la transferencia del preesfuerzo



Realizando  $\Sigma F_y = 0$  y la  $\Sigma M_1 = 0$

$$R1 + R2 \approx \gamma_c \frac{A1 + A2}{2} * L \quad (4.1)$$

$$R2 = \gamma_c \left( A2 * \frac{L}{2} + (A1 - A2) * \frac{L}{6} \right) \quad (4.2)$$

Donde:

$A1$  es el área total de la sección de concreto en el punto 1, en  $m^2$ .

$A2$  es el área total de la sección de concreto en el punto 2, en  $m^2$ .

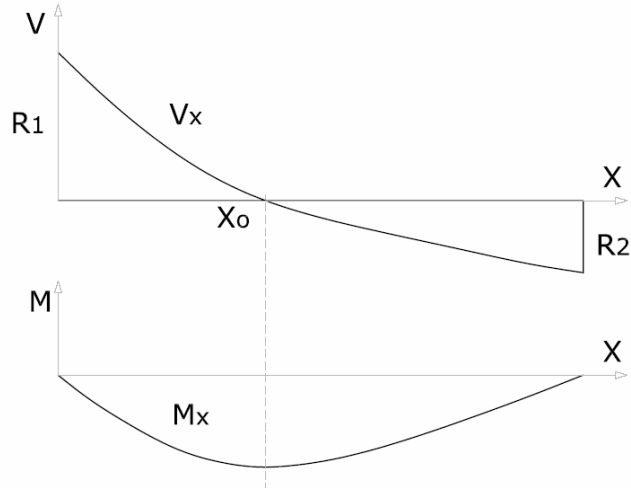
$R1$  es la reacción producida por el peso propio en el punto 1, en kg.

$R2$  es la reacción producida por el peso propio en el punto 2, en kg.

$L$  es la longitud total del elemento, en m.

$\gamma_c$  es el peso específico del concreto, asumido como  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

Figura 4.5. Diagramas de cortante y momento para el estado de carga



El cortante a lo largo del elemento esta dado por la siguiente ecuación 4.3.

$$V_x = R_1 - \frac{\gamma_c * \left( 2A_1 - \left( \frac{A_1 - A_2}{L} \right) x \right) x}{2} \quad (4.3)$$

El momento a lo largo del elemento esta dado de acuerdo a la ecuación 4.4.

$$M_x = \int_0^x V_x * dx \quad (4.4)$$

Donde:

$V_x$  es el cortante en un punto  $x$  del elemento en consideración, en kg.

$M_x$  es el momento en un punto  $x$  del elemento en consideración, en kg·m.

El momento máximo que se presenta en el elemento se obtiene igualando a cero la ecuación 4.3, y despejando el valor  $x$ , el cual esta notado en la figura 4.5 como  $X_0$ , al remplazar este valor en la ecuación 4.4.

**Cálculo tipo sección 1.** La longitud total de esta sección es 13,5 m.

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \left( (0.3875)^2 - (0.24)^2 \right) = 0.07269 \text{ m}^2$$

$$R_2 = 2400 \left( 0.07269 * \frac{13.5}{2} + (0.1464 - 0.07269) * \frac{13.5}{6} \right) = 1575.612 \text{ Kg}$$

$$R_1 = 1973.646 \text{ Kg}$$

El cortante para cualquier punto de la sección 1 está dado por la siguiente ecuación:

$$V_x = 1973.646 - 1200 * (.2928 - .00546x)x,$$

Para hallar el momento máximo,  $V_x=0$

$$0 = 1973.646 - 351.36x + 6.552x^2$$

Despejando  $x$  obtenemos  $X_0$

$$X_0 = 6.375 \text{ m}$$

El momento máximo se calcula de la siguiente forma

$$M_{max} = \int_0^{6.375} (1973.646 - 351.36x + 6.552x^2) dx = 6008.09 \text{ Kg.m}$$

$$M_{ultimo} = 1.4 * 6008.09 = 8411.32 \text{ Kg.m}$$

Para esta condición de carga el análisis se realizó en la sección donde se presenta el momento mayor; es decir en  $X_0$ .

En el punto  $X_0$  el diámetro exterior de la estructura es 48,31 cm y el diámetro interior es 31,65 cm.

### Cálculo de pérdidas.

- Acortamiento elástico del concreto (ES)

$$ES = K_{ES} \cdot \left( \frac{ES}{Eci} \right) \cdot f_{cir} \quad (4.5)$$

Donde:

$K_{ES}$  es igual a 1,0 para el concreto preesforzado.

$ES$  es el módulo de elasticidad del refuerzo activo, 2000 Ton/cm<sup>2</sup> ó 200000 Mpa.

$Eci$  es el módulo de elasticidad para el concreto en el momento de la transferencia.

$$Eci = 3900 \sqrt{0.65 * 45.5} = 21209.33 \text{ Mpa} = 212.09 \text{ Ton / cm}^2.$$

$f_{cir}$  es el esfuerzo inducido por las cargas prevalecientes en el momento de transferencia de preesfuerzo, en Ton/cm<sup>2</sup>.

$$f_{cir} = \left[ - \frac{nP}{A_c} \right] \cdot K_{cir} + \frac{M_o \cdot e}{I_g} \quad (4.6)$$

Donde:

$P$  es la fuerza de tensionamiento inicial, en kg

Según la NSR 98

Esfuerzo en el gato; debe ser  $0.94F_{py}$ , pero no debe ser mayor que  $0.8F_{pu}$ , o el valor máximo recomendado por los fabricantes.

$$0.94F_{py} = 0.94 * 13500 = 12690 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

$$0.8F_{pu} = 0.8 * 17500 = 14000 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

En el presente caso se utilizan 24 torones de 5/16 pulg a lo largo de todo el poste.

Luego;

$Asp$  área del toron,  $0.374 \text{ cm}^2$ .

$$P = Asp * Esfuerzo = 0.374 * 12690 = 4746.06 \text{ kg.}$$

$n$  número de torones, 24.

$Ac$  es el área grossa de concreto, en  $\text{cm}^2$ .

$$Ac = \frac{\pi}{4} (48.313^2 - 31.65^2) = 1046.48 \text{ cm}^2$$

$K_{cir} = 0.9$ , concreto presforzado.

$M_o$  momento debido al peso propio del miembro, en  $\text{Kg}\cdot\text{m}$ .

$$M_o = M_{max} = 6008.09 \text{ Kg}\cdot\text{m}$$

$e$  es la excentricidad, en este caso tomada hasta el toron mas alejado del eje centroidal, en cm.

$$e = \frac{D_{ext}}{2} - recubrimiento = 48.313 - 2.5 = 21.66 \text{ cm}$$

$I_g$  es el momento de inercia en la sección no fisurada, en  $\text{cm}^4$ .

$$I_g = \frac{\pi}{4} (r_{exte}^4 - r_{int}^4) = \frac{\pi}{4} \left( \frac{48.313^4}{2} - \frac{31.65^4}{2} \right) = 218183.1 \text{ cm}^4$$

$$f_{cir} = \left[ - \frac{24 * 4.746}{1046.48} \right] 0.9 + \frac{600.809 * 21.66}{218183.1} = 0.038$$

Por tanto.

$$ES = 1.0 \left( \frac{2000}{212.09} \right) 0.038 = 0.448 \text{ Ton} / \text{cm}^2$$

- Flujo plástico del concreto (CR.)

$$CR = K_{cr} \frac{ES}{EC} (f_{cir} - f_{c ds}) \quad (4.7)$$

$$f_{c ds} = \frac{M_{ds} \cdot e}{I_g} \quad (4.8)$$

Donde:

$K_{cr} = 2$ , para concreto presforzado.

$E_c$  es el módulo de elasticidad del concreto después de los 28 días,

$$E_c = 3900\sqrt{45.5} = 26306.94 \text{Mpa} = 268.44 \text{Ton} / \text{cm}^2$$

$E_s$  es el módulo de elasticidad del acero, tomado como 2000 Ton/cm<sup>2</sup>.

$M_{ds}$  momento debido a las cargas sostenidas durante el tiempo de vida útil de la estructura, para ello se utiliza la combinación de cargas en condición diaria. En este caso fue tomado como el momento máximo en condición diaria para los elementos modelados que corresponden a esta sección.

$M_{ds} = 8777.49$  Kg-m, en el elemento SP 3

$M_{ds} = 877.749$  Ton-cm

$f_{c ds}$  es el esfuerzo inducido por las cargas permanentes, en Ton/cm<sup>2</sup>.

$$f_{c ds} = \frac{877.749 * 21.66}{218183.1} = 0.087$$

Por tanto.

$$CR = 2.0 \frac{2000}{268.44} (0.038 - 0.087) = 0.73 \text{ Ton} / \text{cm}^2$$

- Retracción del concreto (SH)

$$SH = 8.2 * 10^{-6} K_{sh} * E_s \left( 1 - 0.023 \frac{V}{S} \right) * (100 - RH) \quad (4.9)$$

Donde:

$K_{sh} = 1.0$ , concreto presforzado.

$\frac{V}{S}$  es la relación entre el área de la sección y el perímetro de la misma, en cm.

$$\frac{V}{S} = \frac{1046.48}{\pi * 48.313} = 6.895 \text{cm}$$

$RH = 75\%$ , para Colombia.

Por tanto.

$$SH = 8.2 * 10^{-6} 1.0 * 2000 (1 - 0.023 * 6.895) * (100 - 75) = 0.34 \text{ Ton} / \text{cm}^2$$

- Relajación del Acero (CR<sub>S</sub>)

$$CR_S = [Kre - J(SH + CR + ES)] * C \quad (4.10)$$

Donde:

$Kre = 0.352$ , según ACI [Tabla 26-2]

$J = 0.04$ .

$C = 0.85$ , según ACI [Tabla 26-3].

Por tanto.

$$CR_S = [0.352 - 0.04(0.34 + 0.73 + 0.448)] * 0.85 = 0.248 \text{ Ton / cm}^2$$

$$P_{\text{efectiva transferencia}} = P - ES * A_{sp}$$

$$P_{\text{efectiva transferencia}} = 4.74606 - 0.448 * 0.374 = 4.578 \text{ Ton}$$

$$P_{\text{efectiva transferencia total}} = 4.578 * 24 = 109.88 \text{ Ton}$$

Pe es la fuerza de preesfuerzo efectivo luego de las pérdidas totales.

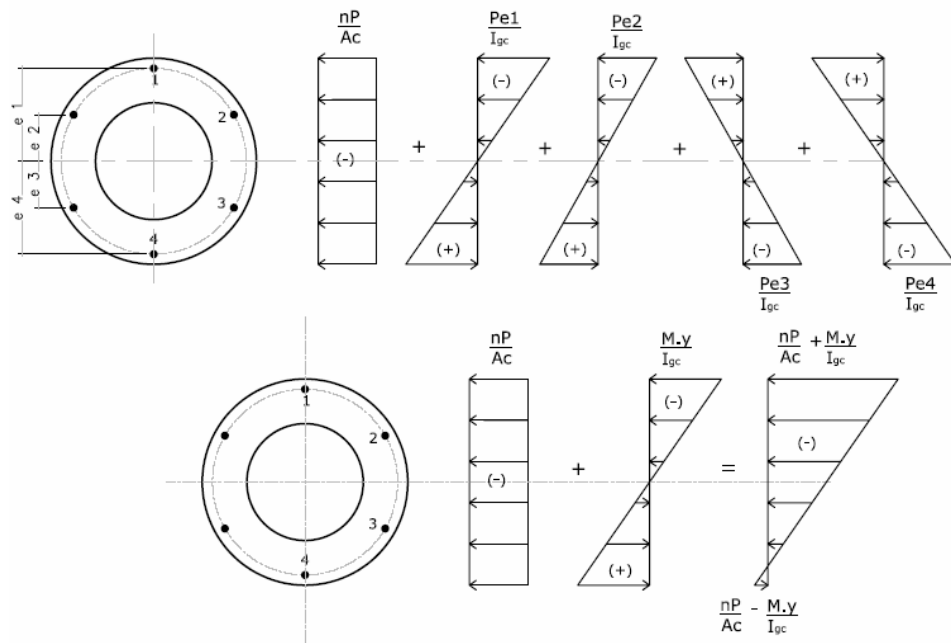
$$Pe = P - (ES + CR + SH + CR_S) * A_{sp}$$

$$Pe = 4.74606 - 1.766 * 0.374 = 4.008 \text{ Ton, por cada toron}$$

$$Pe \text{ Total} = 24 * 4.008 = 96.192 \text{ Ton.}$$

**Chequeo para cargas de servicio.** Realizando un análisis de esfuerzos para condiciones de servicio en una sección con 6 torones se observó que los esfuerzos producidos por el preesfuerzo están dados por la carga total de preesfuerzo dividida en el área grossa de concreto, más el efecto producido por el momento en análisis. Los esfuerzos producidos por las excentricidades de los torones se contrarrestan con los producidos por los torones opuestos debido a las condiciones simétricas del refuerzo.

Figura 4.6. Diagramas de esfuerzos prevalecientes en la sección para cargas de servicio



Para esta condición el concreto tiene una resistencia equivalente al 65% de su resistencia última y ya se han presentado las perdidas inmediatas producidas por el acortamiento elástico del concreto (ES).

El esfuerzo en la fibra superior está dado por la siguiente ecuación:

$$f_{Ariba} = -\frac{n * P_{efec} \cdot Tranf}{A_c} - \frac{M_{max} * \frac{D_{ext}}{2}}{I_g} \quad (4.11)$$

Por tanto.

$$f_{Ariba} = -\frac{109000}{1046.48} - \frac{600809 * \frac{48.313}{2}}{218183.1} = 170.68 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

El esfuerzo en la fibra superior está dado por la siguiente ecuación:

$$f_{Ariba} = -\frac{n * P_{efec} \cdot Tranf}{A_c} + \frac{M_{max} * \frac{D_{ext}}{2}}{I_g} \quad (4.12)$$

Por tanto.

$$f_{Ariba} = -\frac{118508}{1119.30} + \frac{640768 * \frac{50.58}{2}}{258274.5} = 37.64 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

Lo cual indica que la sección no excede los esfuerzos máximos exigidos en la NSR-98.

### Capacidad de momento ultimo.

$$M_{ultimo} = 8411.32 \text{Kg.m}$$

$$D_{ext} = 48.313 \text{ cm}$$

$$D_{int} = 31.65 \text{ cm}$$

$$e' = 2.5 \text{ cm.}$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} (48.313^2 - 31.65^2) = 1046.48 \text{cm}^2$$

$$Y_{centroidal} = \frac{D_{ext}}{2} = \frac{48.313}{2} = 24.16 \text{cm}$$

$$I_g = \frac{\pi}{4} (r_{exte}^4 - r_{int}^4) = \frac{\pi}{4} \left( \frac{48.313^4}{2} - \frac{31.65^4}{2} \right) = 218183.1 \text{cm}^4$$

Para poder obtener el momento resistente de la sección es necesario realizar iteraciones sucesivas en donde se varíe el eje centroidal que divide la sección que se encuentra a compresión de la que esta a tensión de tal manera que la fuerza a compresión total sea igual a la fuerza de tensión. Para optimizar los cálculos se realizaron hojas de calculo en Microsoft Excel, y se utilizo la herramienta de

Macros para obtener diferencias entre la fuerza a tensión y la fuerza a compresión de 0.2%.

$$C_c \text{ (compresión del concreto)} = T_s \text{ (tensión del acero)}$$

Para el caso de análisis la sección posee tanto refuerzo activo como refuerzo pasivo luego las ecuaciones que representan la fuerza a compresión y la fuerza a tensión son las 4.13 y 4.14.

$$C_c = 0.85f'_c * A_a + \sum A's * f's \quad (4.13)$$

$$T_s = \sum_{i=1}^n A_{psi} f_{sei} + \sum A_s * f_s \quad (4.14)$$

Donde:

$f'_c$  es la resistencia nominal del concreto a la compresión. en Kg/cm<sup>2</sup>.

$A_a$  es el área de concreto que trabaja a compresión, en cm<sup>2</sup>.

$A's$  es el área de refuerzo pasivo en la zona a compresión, en cm<sup>2</sup>.

$f's$  es el esfuerzo actuante en el refuerzo pasivo de la zona a compresión, en Kg/cm<sup>2</sup>.

$A_s$  es el área de refuerzo pasivo en la zona a tensión, en cm<sup>2</sup>.

$f_s$  es el esfuerzo al actuante en el refuerzo pasivo de la zona a tensión, en Kg/cm<sup>2</sup>.

$A_{psi}$  es el área enésima del toron en consideración, en cm<sup>2</sup>.

$f_{sei}$  es el esfuerzo actuante en el toron enésimo, en Kg/cm<sup>2</sup>.

Para esta condición de análisis el refuerzo activo existente es de 24 Torones de 5/16 pulg. Y el refuerzo pasivo es de 24 torones de 5/16 pulg.

$$f'c = f'ci = 0.65 * f'c = 295.75 \text{ Kg/cm}^2.$$

Al realizar las iteraciones sucesivas se obtuvo:

Eje neutro,  $c = 21.409$  cm, medidos desde la fibra superior.

$$a = \beta_1 * c$$

para este caso  $\beta_1 = 0.85$

$$a = 0.85 * 23.2 = 18.197 \text{ cm}$$

Para el cálculo de área grossa de concreto, fue utilizada la metodología propuesta en la publicación del pci JOURNAL, Vol 42, No 6.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{\left(\frac{48.313}{2}\right)^2 - 6.513^2}}{6.513} \right) = 1.298 \text{ rad}$$

$$A_1 = \frac{\left(\frac{48.313}{2}\right)^2}{2} (1.298 - \text{sen}(1.298)) = 605.789 \text{ cm}^2$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{\left(\frac{31.65}{2}\right)^2 - 6.513^2}}{6.513} \right) = 1.147 \text{ rad}$$

$$A_2 = \frac{\left(\frac{31.65}{2}\right)^2}{2} (1.147 - \text{sen}(1.147)) = 193.204 \text{ cm}^2$$

$$A_c = A_1 - A_2 = 412.58 \text{ cm}^2$$

Para el cálculo del centroide de concreto se realiza de forma iterativa variando el eje medio del área de concreto a compresión hasta obtener la posición en la cual el área obtenida sea la mitad del área total a compresión.

El valor obtenido es;  $X_{\text{cent}} = 19.756 \text{ cm}$

Comprobando:

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{\left(\frac{48.313}{2}\right)^2 - 19.756^2}}{19.756} \right) = 0.613 \text{ rad}$$

$\theta_4$  no existe porque 21,186 es mayor que  $48,313/(2-2.5)$ , por lo tanto el área media es  $A_{cX} = 206.293 \text{ cm}^2$ .

**Cálculo de esfuerzos.** Según el capítulo 2 del presente proyecto los esfuerzos prevaletientes son los siguientes:

$$\varepsilon_{se} = \frac{4}{0.374 * 2000} = 0.00534$$

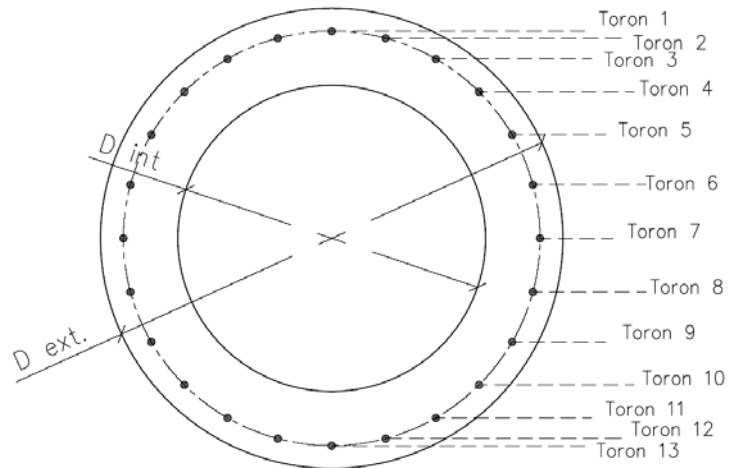
$$\varepsilon_{se} = \frac{96}{1119.3 * 2000} = 0.00004587$$

Estos dos valores son independientes de la posición del toron.

$$\varepsilon_{sb} = \frac{\varepsilon_u(d - c)}{c}$$

La tabla 4.5 muestra los valores correspondientes a estos esfuerzos, teniendo en cuenta la figura 4.7:

Figura 4.7. Ubicación de torones



Para el toron 1

$$d-c = D_{ext}/2 - d_1 - c = -18.91$$

$$\varepsilon_{sb} = \frac{0.003(-18.26)}{20.757} = -0.00264$$

Tabla 4.5. Esfuerzos de los torones

Toron	Distancias	$E_{sb}$	$E_{se}+E_{ce}$	$E_{sb}+E_{se}+E_{ce}$
1	-18.26	-0.00264	0.00539	0.00275
2	-17.52	-0.00253	0.00539	0.00286
3	-15.36	-0.00222	0.00539	0.00317
4	-11.91	-0.00172	0.00539	0.00367
5	-7.43	-0.00107	0.00539	0.00432
6	-2.21	-0.00032	0.00539	0.00507
7	3.40	0.00049	0.00539	0.00588
8	9.01	0.00130	0.00539	0.00669
9	14.23	0.00206	0.00539	0.00745
10	18.71	0.00270	0.00539	0.00810
11	22.16	0.00320	0.00539	0.00860
12	24.32	0.00351	0.00539	0.00891
13	25.06	0.00362	0.00539	0.00901

La fuerza a compresión está compuesta por el aporte del concreto más los esfuerzos del refuerzo pasivo que se encuentran en la zona a compresión.

Para el torón 1 los cálculos fueron:

$$A's*fs = -0.00264*(1*0.374)*2000*1000=-1974.72 \text{ Kg.}$$

El área para torones de 5/16 pulg es 0.374 cm<sup>2</sup>.

Tabla 4.6. Fuerzas a compresión y momentos que producen

Distancias	Toron	esfuerzos	No Torones 5/16	Área total	A's*fs	M (Kg-cm)	
-18.91	1	-0.00265	1	0.374	-1981.96	37476.36	
-18.17	2	-0.00255	2	0.748	-3809.22	69216.71	
-16.01	3	-0.00224	2	0.748	-3355.68	53715.50	
-12.57	4	-0.00176	2	0.748	-2634.20	33100.60	
-8.08	5	-0.00113	2	0.748	-1693.95	13687.96	
-2.86	6	-0.00040	2	0.748	-599.00	1711.57	
Total =					-14074.01	208908.71	
-16.93	<b>Concreto</b>			Total =	-106169.92	1797173.36	
					Compresión	-120243.93	2006082.07

La tensión esta compuesta por el aporte de todos lo torones Preesforzados mas los torones pasivos que poseen un esfuerzo positivo para el momento flector.

Tabla 4.7. Fuerzas a tensión y momento resistente aportado

Toron	Distancias	Esfuerzos		Fuerzas (kg)		Momentos (kg-cm)	
		Esu	Esb	Aps*fps	As*fs	Activas	Pasivas
1	-18.26	0.0028		2060.59		-37619.19	0
2	-17.52	0.0057		4280.73		-74992.44	0
3	-15.36	0.0063		4748.52		-72914.13	0
4	-11.91	0.0073		5492.67		-65436.98	0
5	-7.43	0.0086		6462.46		-48005.15	0
6	-2.21	0.0101		7591.81		-16741.24	0
7	3.40	0.0118	0.0010	8803.76	735.14	29932.29	2499.43
8	9.01	0.0134	0.00260	10015.70	1947.08	90191.98	17533.59
9	14.23	0.0135	0.00411	10098.00	3076.43	143676.31	43772.08
10	18.71	0.0135	0.00541	10098.00	4046.23	188967.94	75718.69
11	22.16	0.0135	0.00640	10098.00	4790.38	223721.43	106130.95
12	24.32	0.0135	0.00703	10098.00	5258.17	245568.39	127870.92
12	25.06	0.00675	0.00362	5049.00	2708.86	126509.99	67874.48
Totales :				94897.23	22562.29	732859.21	438900.70
				Suma :	117459.5	Suma :	1171759.9

$$Mu = 0.9*(20060872.07+1171759.91) = 0.9*3077086.37$$

$$M_u = 2769377.73 \text{ Kg-cm}$$

$M_{ultimo} < 27693.77 \text{ Kg-m}$ , cumple con las condiciones requeridas.

### Chequeo por refuerzo mínimo.

$$f_r = \frac{\sqrt{29.575}}{2} * 10 = 27.19 \text{ Kg/cm}^2$$

$$M_{cr} = \frac{27.191 * 218183.1}{24.16} - \frac{24 * 4578 * 218183.1}{1008.09 * 24.16} = 1034303.11 \text{ Kg-cm}$$

$12 * M_{cr} < M_u$ , cumple con las condiciones requeridas.

### Chequeo por cortante y torsión.

$$V_c = \frac{\sqrt{F_t^2 + F_t f_{pc}}}{\frac{Q}{2 * I_g * t}} \quad (4.15)$$

Donde:

$F_t$  es el esfuerzo a tensión de concreto, 309,88 psi.

$Q$  es el primer momento de inercia, dado en  $\text{in}^3$ .

$$Q = A * D / 2 = 162.2 * 19.02 = 3085.04 \text{ in}^3$$

$F_{pc}$  es el esfuerzo efectivo a compresión en el concreto debido al preesfuerzo, 1304,3 psi.

$I_g$  es el momento de inercia en la sección no fisurada, 5241,86  $\text{in}^4$ .

$t$  es el espesor de la sección del poste, 3,34 in.

$V_u \leq \phi V_n$ , cumple con las condiciones requeridas.

**Cálculo tipo sección 2.** La longitud total de esta sección es 12,5 m.

$$A1 = 0.2355 \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,1464 \text{ m}^2$$

$$R1 = 3087 \text{ Kg}$$

$$R2 = 2641.5 \text{ Kg}$$

$$V_x = 3087 - 1200 * (0.471 - 0.00891x)x$$

$$X_{o2} = 6.185 \text{ m}$$

$$M_{max} = 9125.54 \text{ Kg-m}$$

$$M_{ultimo} = 12775.76 \text{ Kg-m}$$

## Chequeo para cargas de servicio.

Tabla 4.8. Esfuerzos para la transferencia en la sección 2

Chequeo esfuerzos		
$M$ (kg/cm <sup>2</sup> )	9125,54	
$Pe$ tranf (kg)	95653	
$f$ arriba (kg/cm <sup>2</sup> )	-54,68	<b>OK</b>
$f$ abajo (kg/cm)	-47,03	<b>OK</b>

**Capacidad de momento último.** Para esta condición de análisis el refuerzo activo existente es 26 torones de 5/16 pulg, y pasivos son; 72 torones de 5/16 pulg. En el Anexo 2, se muestra el reporte obtenido al correr el modelo, y es la base principal para los análisis posteriores.

Tabla 4.9. Momento último para el momento de transferencia en la sección 2

$D$ ext (cm)	68,28
$D$ int (cm)	47,62
$e'$ (cm)	2,5
$H$ . poste (m)	12,50
$e$ . Max (cm)	31,64
$A.g.c$ (cm <sup>2</sup> )	1880,63
$\neq b$ centr	34,140
$\neq t$ centr	34,140
$I_{xx}$ (cm <sup>4</sup> )	814527,6
$r^2$ (cm <sup>4</sup> )	433,11
$Cc$ (Kg)	200692,5
$Ts$ (Kg)	200692,5
$\Delta$ (Cc-Ts)	-2E-05
$\Sigma M = 0$	
$Mu$ (Kg-cm)	7541387,337
$1,2Mr \leq Mu$	
P.e Toron (Kg)	4000
$fr$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	38,0680
$Mcr$ (Kg*cm)	1923156,84
Chequeo :	<b>OK</b>

**4.3.4 Análisis de las condiciones de carga eléctricas.** Las condiciones de carga se analizaron median el software CSI COL, estudiando las diferentes secciones de los postes en donde se presentan los mayores esfuerzos, y de esa

manera demostrar que la estructura se comporta de una forma adecuada ante las cargas de servicio a las que se verá afrontada durante su vida útil. En el anexo 3, se muestra el reporte de programa CSI COL. Donde se analizó el elemento mas crítico expuesto ante cargas verticales y momentos correspondientes a la misma condición de carga extrema, la sección analizada corresponde a la mitad de la longitud del elemento frame 9 el cual posee la sección SP 2, los datos anteriores fueron sacados del anexo 2.

Al realizar el análisis de la sección modelada la cual consta de 48 torones de 7/16 pulg que aproximadamente corresponden a los 96 torones de 5/16 pulg, refuerzo sacado de el anexo 1; la explicación es que en el modelo no se podía analizar los 96 torones de 5/16 pulg puesto que la separación no cumple, lo que no tiene inconveniente constructivo debido a que el refuerzo pasivo utilizado puede ir en pachas ó grupos de torones. Es importante recordar que para el cálculo de la capacidad última de los elementos preesforzados se utiliza la metodología tradicional utilizada para el cálculo del concreto reforzado, solo teniendo en cuenta de remplazar el  $F_{py}$  por  $F_y$ , lo que significa que todos los torones poseen la misma fluencia puesto que el refuerzo pasivo suministrado posee iguales propiedades mecánicas a la de los torones utilizados para el pretensado.

**4.3.5 Diseño de elementos en concreto reforzado.** Los elementos reforzados como son las crucetas o los anillos de rigidez fueron diseñados mediante el programa MIDAS Gen. Utilizando las consideraciones de diseño exigidas por la NSR-98; el anexo 4, presentan el refuerzo solicitado para las diferentes condiciones de carga, de estos elementos.

## 5. DISEÑOS Y RESULTADOS

### 5.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo da a conocer todas las características mecánicas obtenidas y necesarias en el diseño y selección de estructuras para líneas eléctricas de transmisión en los niveles de tensión eléctrica previamente establecidos sin descartar su uso a otro nivel de tensión en el cual sea posible su uso.

### 5.2 DISEÑOS

**5.2.1 Estructura disposición vertical.** Tipo de estructura diseñada para el nivel de tensión eléctrica de 34,5 kV, figura 5.4.

**5.2.2 Estructura disposición triangular con cable de guarda.** Tipo de estructura diseñada para el nivel de tensión eléctrica de 34,5 kV, figura 5.3.

**5.2.3 Estructura disposición triangular con doble cable de guarda.** Tipo de estructura diseñada para los niveles de tensión eléctrica de 115 y 230 kV, figura 5.1.

**5.2.4 Estructura disposición doble circuito con doble cable de guarda.** Tipo de estructura diseñada para los niveles de tensión eléctrica de 115 y 230 kV, figura 5.2.

### 5.3 ESTRUCTURAS TIPO

Figura 5.1. Estructura en concreto tipo triangular con doble cable de guarda y crucetas en concreto



Figura 5.2. Estructura en concreto tipo doble circuito vertical con doble cable de guarda y crucetas en concreto



Figura 5.3. Estructura en concreto tipo triangular con cable de guarda, crucetas en concreto y bayoneta metálica



Figura 5.4. Estructura en concreto tipo vertical con cable de guarda, crucetas en concreto y bayoneta metálica



### 5.3.1 Estructura terminal disposición triangular y vertical a 34,5 kV.

Tabla 5.1. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular y vertical a 34,5 kV tipo terminal

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
2	38,75	24	74,75	52,8	24	10187	16.15
2	38,75	24	71,75	50,4	22	10187	14.11
2	38,75	24	68,75	48,0	20	10187	12.21
2	38,75	24	65,75	45,6	18	10187	10.46
2	38,75	24	62,75	43,2	16	10187	8.83
2	38,75	24	59,75	40,8	14	10187	7.33
2	38,75	24	56,75	38,4	12	10187	5.95

### 5.3.2 Estructura en suspensión disposición triangular y vertical a 34,5 kV.

Tabla 5.2. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular y vertical a 34,5 kV tipo suspensión

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
2	38,75	24	74,75	52,8	24	1330	16.15
2	38,75	24	71,75	50,4	22	1330	14.11
2	38,75	24	68,75	48,0	20	1330	12.21
2	38,75	24	65,75	45,6	18	1330	10.46
2	38,75	24	62,75	43,2	16	1330	8.83
2	38,75	24	59,75	40,8	14	1330	7.33
2	38,75	24	56,75	38,4	12	1330	5.95

### 5.3.3 Estructura en retención con disposición triangular y vertical a 34,5 kV.

Tabla 5.3. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular y vertical a 34,5 kV tipo retención

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
2	38,75	24	74,75	52,8	24	5036	16.15
2	38,75	24	71,75	50,4	22	5036	14.11
2	38,75	24	68,75	48,0	20	5036	12.21
2	38,75	24	65,75	45,6	18	5036	10.46
2	38,75	24	62,75	43,2	16	5036	8.83
2	38,75	24	59,75	40,8	14	5036	7.33
2	38,75	24	56,75	38,4	12	5036	5.95
3	36.5	22	72.50	50.8	24	15082	22.86
3	36.5	22	69.50	48.4	22	15082	19.94
3	36.5	22	66.50	46	20	15082	17.23
3	36.5	22	63.50	43.6	18	15082	14.72
3	36.5	22	60.50	41.2	16	15082	12.40
3	36.5	22	57.50	38.8	14	15082	10.28
3	36.5	22	54.50	36.4	12	15082	8.33

### 5.3.4 Estructura terminal con disposición triangular a 115 kV.

Tabla 5.4 Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 115 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 3,2 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
2	41.00	26.00	83.00	59.6	28	13991	21.8
2	41.00	26.00	80.00	57.2	26	13991	19.4
2	41.00	26.00	77.00	54.8	24	15932	17.1
2	41.00	26.00	74.00	52.4	22	15932	14.9
2	41.00	26.00	71.00	50.0	20	18782	13.0
2	41.00	26.00	68.00	47.6	18	18782	11.1

Tabla 5.5. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 115 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 3,7 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41.00	26.00	83.00	59.6	28	18980	32.7
3	41.00	26.00	80.00	57.2	26	18980	29.0
3	41.00	26.00	77.00	54.8	24	18980	25.6
3	41.00	26.00	74.00	52.4	22	18980	22.4
3	41.00	26.00	71.00	50.0	20	19015	19.4
3	41.00	26.00	68.00	47.6	18	19015	16.7

### 5.3.5 Estructura en suspensión con disposición triangular a 115 kV.

Tabla 5.6. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 115 kV tipo suspensión y longitud de cruceta de fases 3,2 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
2	41	26	86,00	62	30	1952,2	12,2
2	41	26	83,00	59,6	28	1952,2	10,9
2	41	26	80,00	57,2	26	1952,2	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	1952,2	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	1952,2	7,5
2	41	26	71,00	50	20	1952,2	6,5
2	41	26	68,00	47,6	18	1952,2	5,6

Tabla 5.7. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 115 kV tipo suspensión y longitud de cruceta de fases 3,7 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
2	41	26	86,00	62	30	3969	12,2
2	41	26	83,00	59,6	28	3969	10,9
2	41	26	80,00	57,2	26	3969	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	3969	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	3969	7,5
2	41	26	71,00	50	20	3969	6,5
2	41	26	68,00	47,6	18	3969	5,6

### 5.3.6 Estructura en retención con disposición triangular a 115 kV.

Tabla 5.8. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 115 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 3,2 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	86,00	62,0	30	14993	12,2
3	41	26	83,00	59,6	28	19999	10,9
3	41	26	80,00	57,2	26	23998	9,7
3	41	26	77,00	54,8	24	24980	8,5
3	41	26	74,00	52,4	22	24980	7,5
3	41	26	71,00	50,0	20	25958	6,5
3	41	26	68,00	47,6	18	27875	5,6
3	41	26	65,00	45,2	16	27875	4,7
3	38,75	24	83,75	60,0	30	11459	11,6
3	38,75	24	80,75	57,6	28	12411	10,3
3	38,75	24	77,75	55,2	26	15981	9,2
3	38,75	24	74,75	52,8	24	20998	8,1
3	38,75	24	71,75	50,4	22	20998	7,1
3	38,75	24	68,75	48,0	20	21977	6,1
3	38,75	24	65,75	45,6	18	22990	5,2
3	38,75	24	62,75	43,2	16	23998	4,4
2	41	26	77,00	54,8	24	2266	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	2266	7,5
2	41	26	71,00	50,0	20	3036	6,5
2	41	26	68,00	47,6	18	3618	5,6
2	41	26	65,00	45,2	16	3618	4,7

Tabla 5.9. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 115 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 3,7 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	86,00	62	30	30521	12,2
3	41	26	83,00	59,6	28	39060	10,9
3	41	26	80,00	57,2	26	41156	9,7
3	41	26	77,00	54,8	24	25000	8,5
3	41	26	74,00	52,4	22	25000	7,5
3	41	26	71,00	50	20	26825	6,5
3	41	26	68,00	47,6	18	29677	5,6
3	41	26	65,00	45,2	16	30276	4,7
3	38,75	24	83,75	60	30	10236	11,6
3	38,75	24	80,75	57,6	28	12996	10,3
3	38,75	24	77,75	55,2	26	13998	9,2
3	38,75	24	74,75	52,8	24	20000	8,1
3	38,75	24	71,75	50,4	22	20000	7,1
3	38,75	24	68,75	48	20	23986	6,1
3	38,75	24	65,75	45,6	18	26825	5,2
3	38,75	24	62,75	43,2	16	26825	4,4
3	36,5	22	81,50	58	30	5153	11,0
3	36,5	22	78,50	55,6	28	5153	9,8
3	36,5	22	75,50	53,2	26	5153	8,7
3	36,5	22	72,50	50,8	24	8762	7,6
3	36,5	22	69,50	48,4	22	8762	6,6
3	36,5	22	66,50	46	20	13998	5,7
3	36,5	22	63,50	43,6	18	13998	4,9
3	36,5	22	60,50	41,2	16	13998	4,1

### 5.3.7 Estructura terminal con disposición doble circuito vertical a 115 kV.

Tabla 5.10. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 115 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 3,2 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	74,00	52,40	22	25012	7,5

Tabla 5.11. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 115 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 3,7 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	77,00	54,8	24	23942	8,5
3	41	26	74,00	52,4	22	25126	7,5

### 5.3.8 Estructura en suspensión con disposición doble circuito vertical a 115 kV.

Tabla 5.12. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 115 kV tipo suspensión y longitud de cruceta de fases 3,2 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	34,25	20	73,25	51,2	26	4232,8	8,2
3	34,25	20	70,25	48,8	24	4232,8	7,2
3	34,25	20	67,25	46,4	22	2825	6,2
2	41	26	86,00	62	30	5554,8	12,2
2	41	26	83,00	59,6	28	5554,8	10,9
2	41	26	80,00	57,2	26	4232,8	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	4232,8	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	2825	7,5

Tabla 5.13. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 115 kV tipo suspensión y longitud de cruceta de fases 3,7 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
2	41	26	86,00	62	30	5538	12,2
2	41	26	83,00	59,6	28	5538	10,9
2	41	26	80,00	57,2	26	5538	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	5538	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	3694	7,5

### 5.3.9 Estructura en retención con disposición doble circuito vertical a 115 kV.

Tabla 5.14. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 115 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 3,2 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	83,00	59,6	28	14998	10,9
3	41	26	80,00	57,2	26	15564	9,7
3	41	26	77,00	54,8	24	22995	8,5
3	41	26	74,00	52,4	22	22995	7,5
3	41	26	71,00	50	20	28997	6,5
3	41	26	68,00	47,6	18	30985	5,6
3	38,75	24	77,75	55,2	26	16625	9,2
3	38,75	24	74,75	52,8	24	16625	8,1
3	38,75	24	71,75	50,4	22	16625	7,1
3	38,75	24	68,75	48	20	21996	6,1
3	38,75	24	65,75	45,6	18	21996	5,2
2	41	26	77,00	54,8	24	2967	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	2967	7,5
2	41	26	71,00	50	20	6839	6,5
2	41	26	68,00	47,6	18	6839	5,6

Tabla 5.15 Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 115 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 3,7 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	77,00	54,8	24	26983	8,5
3	41	26	74,00	52,4	22	29000	7,5
3	41	26	71,00	50	20	29000	6,5
3	38,75	24	83,75	60	30	5420	11,6
3	38,75	24	80,75	57,6	28	6646	10,3
3	38,75	24	77,75	55,2	26	11630	9,2
3	38,75	24	74,75	52,8	24	15635	8,1
3	38,75	24	71,75	50,4	22	18865	7,1
3	38,75	24	68,75	48	20	21000	6,1
3	36,5	22	81,50	58	30	3999	11,0
3	36,5	22	78,50	55,6	28	5977	9,8
3	36,5	22	75,50	53,2	26	5977	8,7
3	36,5	22	72,50	50,8	24	6646	7,6
3	36,5	22	69,50	48,4	22	11981	6,6
3	36,5	22	66,50	46	20	15000	5,7

### 5.3.10 Estructura terminal con disposición triangular a 230 kV.

Tabla 5.16. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 230 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 5 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	38,75	24	95,75	69,6	38	15735	17,4
3	38,75	24	92,75	67,2	36	15735	15,8
3	38,75	24	89,75	64,8	34	15735	14,3
3	38,75	24	86,75	62,4	32	15735	12,9
3	38,75	24	83,75	60	30	15735	11,6
3	38,75	24	80,75	57,6	28	15735	10,3
3	38,75	24	77,75	55,2	26	15735	9,2
3	38,75	24	74,75	52,8	24	15735	8,1
2	41	26	83,00	59,6	28	12758	10,9
2	41	26	80,00	57,2	26	12758	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	12758	8,5

Tabla 5.17. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 230 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 5,75 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	38,75	24	98,75	72	40	15752	19,1
3	38,75	24	95,75	69,6	38	15752	17,4
3	38,75	24	92,75	67,2	36	15752	15,8
3	38,75	24	89,75	64,8	34	15752	14,3
3	38,75	24	86,75	62,4	32	15752	12,9
3	38,75	24	83,75	60	30	15752	11,6
3	38,75	24	80,75	57,6	28	15752	10,3
3	38,75	24	77,75	55,2	26	15752	9,2
3	38,75	24	74,75	52,8	24	15752	8,1
2	41	26	83,00	59,6	28	12743	10,9
2	41	26	80,00	57,2	26	12743	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	12743	8,5

### 5.3.11 Estructura en suspensión con disposición triangular para a 230 kV.

Tabla 5.18. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 230 kV tipo suspensión y longitud de cruceta de fases 5 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	36,5	22	93,50	67,6	38	4214	16,6
3	36,5	22	90,50	65,2	36	4214	15,1
3	36,5	22	87,50	62,8	34	4214	13,6
3	36,5	22	84,50	60,4	32	4214	12,3
3	36,5	22	81,50	58	30	4214	11,0
3	36,5	22	78,50	55,6	28	4214	9,8
3	36,5	22	75,50	53,2	26	4214	8,7
3	36,5	22	72,50	50,8	24	4214	7,6
3	36,5	22	69,50	48,4	22	4214	6,6
2	41	26	83,00	59,6	28	626	10,9
2	41	26	80,00	57,2	26	626	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	626	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	626	7,5

Tabla 5.19. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 230 kV tipo suspensión y longitud de cruceta de fases 5,75 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	36,5	22	93,50	67,6	38	5451	16,6
3	36,5	22	90,50	65,2	36	5451	15,1
3	36,5	22	87,50	62,8	34	5451	13,6
3	36,5	22	84,50	60,4	32	5451	12,3
3	36,5	22	81,50	58	30	5451	11,0
3	36,5	22	78,50	55,6	28	5451	9,8
3	36,5	22	75,50	53,2	26	5451	8,7
3	36,5	22	72,50	50,8	24	5451	7,6
3	36,5	22	69,50	48,4	22	5451	6,6
2	41	26	80,00	57,2	26	455	9,7
2	41	26	77,00	54,8	24	455	8,5
2	41	26	74,00	52,4	22	455	7,5

### 5.3.12 Estructura en retención con disposición triangular a 230 kV.

Tabla 5.20. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 230 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 5 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	95,00	69,2	36	21960	16,6
3	41	26	92,00	66,8	34	23768	15,0
3	41	26	89,00	64,4	32	24971	13,6
3	41	26	86,00	62	30	24971	12,2
3	41	26	83,00	59,6	28	24971	10,9
3	41	26	80,00	57,2	26	24971	9,7
3	38,75	24	92,75	67,2	36	19962	15,8
3	38,75	24	89,75	64,8	34	20940	14,3
3	38,75	24	86,75	62,4	32	21960	12,9
3	38,75	24	83,75	60	30	21960	11,6
3	38,75	24	80,75	57,6	28	24971	10,3
3	38,75	24	77,75	55,2	26	24971	9,2
3	36,5	22	90,50	65,2	36	6374	15,1
3	36,5	22	87,50	62,8	34	6374	13,6
3	36,5	22	84,50	60,4	32	6374	12,3
3	36,5	22	81,50	58	30	10195	11,0
3	36,5	22	78,50	55,6	28	4253	9,8
3	36,5	22	75,50	53,2	26	4253	8,7
3	36,5	22	72,50	50,8	24	17988	7,6

Tabla 5.21. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición triangular a 230 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 5,75 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	95,00	69,2	36	21966	16,6
3	41	26	92,00	66,8	34	21966	15,0
3	41	26	89,00	64,4	32	21966	13,6
3	41	26	86,00	62	30	21966	12,2
3	41	26	83,00	59,6	28	25061	10,9
3	41	26	80,00	57,2	26	25061	9,7
3	41	26	77,00	54,8	24	25061	8,5
3	38,75	24	92,75	67,2	36	17996	15,8
3	38,75	24	89,75	64,8	34	17996	14,3
3	38,75	24	86,75	62,4	32	21966	12,9
3	38,75	24	83,75	60	30	21966	11,6
3	38,75	24	80,75	57,6	28	24841	10,3
3	38,75	24	77,75	55,2	26	24841	9,2
3	38,75	24	74,75	52,8	24	24841	8,1
3	36,5	22	90,50	65,2	36	8924	15,1
3	36,5	22	87,50	62,8	34	8924	13,6
3	36,5	22	84,50	60,4	32	8924	12,3
3	36,5	22	81,50	58	30	8924	11,0
3	36,5	22	78,50	55,6	28	2447	9,8
3	36,5	22	75,50	53,2	26	2447	8,7
3	36,5	22	72,50	50,8	24	16997	7,6
3	36,5	22	69,50	48,4	22	17996	6,6
3	36,5	22	66,50	46	20	20952	5,7
3	36,5	22	63,50	43,6	18	20952	4,9

### 5.3.13 Estructura terminal con disposición doble circuito vertical a 230 kV.

Tabla 5.22. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 230 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 5 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	101,00	74	40	25999	20,0
3	41	26	98,00	71,6	38	25999	18,2
3	41	26	95,00	69,2	36	27000	16,6
3	41	26	92,00	66,8	34	27153	15,0
3	41	26	89,00	64,4	32	27153	13,6
3	41	26	86,00	62	30	27153	12,2
3	41	26	83,00	59,6	28	27153	10,9
3	41	26	80,00	57,2	26	27153	9,7
3	38,75	24	98,75	72	40	20999	19,1
3	38,75	24	95,75	69,6	38	20999	17,4
3	38,75	24	92,75	67,2	36	20999	15,8

Tabla 5.23. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 230 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 5,75 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	101.00	74	40	25996	20,0
3	41	26	98.00	71.6	38	25996	18,2
3	41	26	95.00	69.2	36	25996	16,6
3	41	26	92.00	66.8	34	25996	15,0
3	41	26	89.00	64.4	32	25996	13,6
3	41	26	86.00	62	30	25996	12,2
3	41	26	83.00	59.6	28	25996	10,9
3	41	26	80.00	57.2	26	27165	9,7

### 5.3.14 Estructura en suspensión con disposición doble circuito vertical a 230 kV.

Tabla 5.24. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 230 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 5 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	36.5	22	96.50	70	40	10315	18,20
3	36.5	22	93.50	67.6	38	10315	16,59
3	36.5	22	90.50	65.2	36	10315	15,06
3	34.25	20	88.25	63.2	36	5184	14,31
3	34.25	20	85.25	60.8	34	6476	12,92
3	34.25	20	82.25	58.4	32	6476	11,61

Tabla 5.25. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 230 kV tipo terminal y longitud de cruceta de fases 5,75 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	38.75	24	98.75	72	40	12356	19,08
3	38.75	24	95.75	69.6	38	12356	17,40
3	38.75	24	92.75	67.2	36	12356	15,82
3	38.75	24	89.75	64.8	34	12356	14,32
3	38.75	24	86.75	62.4	32	12356	12,91
3	36.5	22	96.50	70	40	6651	18,20
3	36.5	22	93.50	67.6	38	6651	16,59
3	36.5	22	90.50	65.2	36	6651	15,06

### 5.3.15 Estructura en retención con disposición doble circuito vertical a 230 kV.

Tabla 5.26. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 230 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 5 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	101.00	66	40	22040	20,0
3	41	26	98.00	64	38	22040	18,2
3	41	26	95.00	62	36	22905	16,6
3	41	26	92.00	60	34	24535	15,0
3	41	26	89.00	58	32	25760	13,6
3	41	26	86.00	56	30	26706	12,2
3	41	26	83.00	54	28	27747	10,9
3	41	26	80.00	52	26	31365	9,7
3	38.75	24	98.75	64	40	14321	19,1
3	38.75	24	95.75	62	38	14321	17,4
3	38.75	24	92.75	60	36	14321	15,8
3	38.75	24	89.75	58	34	16250	14,3
3	38.75	24	86.75	56	32	16250	12,9
3	38.75	24	83.75	54	30	16250	11,6
3	38.75	24	80.75	52	28	16250	10,3
3	38.75	24	77.75	50	26	18595	9,2
3	36.5	22	96.50	62	40	14321	18,2
3	36.5	22	93.50	60	38	14321	16,6
3	36.5	22	90.50	58	36	14321	15,1
3	36.5	22	87.50	56	34	16250	13,6
3	36.5	22	84.50	54	32	16250	12,3
3	36.5	22	81.50	52	30	16250	11,0
3	36.5	22	78.50	50	28	16250	9,8
3	36.5	22	75.50	48	26	18595	8,7

Tabla 5.27. Características de los postes de las estructuras diseñadas con disposición doble circuito a 230 kV tipo retención y longitud de cruceta de fases 5,75 m

Número de postes	Diámetros en la cima (cm)		Diámetros en la base (cm)		Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Peso total (Ton)
	Exterior	Interior	Exterior	Interior			
3	41	26	101.00	74	40	23118	20,0
3	41	26	98.00	71.6	38	23118	18,2
3	41	26	95.00	69.2	36	25682	16,6
3	41	26	92.00	66.8	34	26823	15,0
3	41	26	89.00	64.4	32	28314	13,6
3	41	26	86.00	62	30	28314	12,2
3	41	26	83.00	59.6	28	28314	10,9
3	41	26	80.00	57.2	26	28314	9,7
3	38.75	24	98.75	72	40	15641	19,1
3	38.75	24	95.75	69.6	38	15641	17,4
3	38.75	24	92.75	67.2	36	15641	15,8
3	38.75	24	89.75	64.8	34	17797	14,3
3	38.75	24	86.75	62.4	32	17797	12,9
3	38.75	24	83.75	60	30	18973	11,6
3	38.75	24	80.75	57.6	28	20180	10,3
3	38.75	24	77.75	55.2	26	20180	9,2
3	36.5	22	96.50	70	40	2394	18,2
3	36.5	22	93.50	67.6	38	2394	16,6
3	36.5	22	90.50	65.2	36	2394	15,1
3	36.5	22	87.50	62.8	34	2394	13,6
3	36.5	22	84.50	60.4	32	2394	12,3
3	36.5	22	81.50	58	30	2394	11,0
3	36.5	22	78.50	55.6	28	2394	9,8
3	36.5	22	75.50	53.2	26	2394	8,7

### 5.3.16 Crucetas.

Tabla 5.28. Características de las crucetas diseñadas

Base (cm)	Altura (cm)	Recubrimiento (cm)	Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Momento (ton-m)	Refuerzo Superior		Refuerzo inferior		Estribos
15	25	5	1,5	1000	1,60	5/8"	2 barras	4/8"	1 barra	E#3 c/5
15	25	5	1,5	1500	2,35	5/8"	2 barras	4/8"	1 barra	E#3 c/5
15	25	5	1,5	2000	3,10	6/8"	2 barras	4/8"	1 barra	E#3 c/5
15	25	5	1,5	2500	3,85	7/8"	2 barras	4/8"	1 barra	E#3 c/5
15	30	5	2,0	1000	2,22	5/8"	2 barras	4/8"	2 barras	E#3 c/6,25
15	30	5	2,0	1500	3,22	6/8"	2 barras	4/8"	2 barras	E#3 c/6,25
15	30	5	2,0	2000	4,22	6/8"	2 barras	4/8"	2 barras	E#3 c/6,25
20	30	5	2,0	2500	5,22	7/8"	2 barras	4/8"	2 barras	E#3 c/6,25
20	40	5	3,2	1500	5,78	5/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,2	2000	7,38	6/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,2	2500	8,98	6/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,2	3000	10,58	7/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,5	1500	6,43	5/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,5	2000	8,18	6/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,5	2500	9,93	7/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,5	3000	11,68	7/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,7	1500	6,86	6/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,7	2000	8,71	6/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,7	2500	10,56	7/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75
20	40	5	3,7	3000	12,41	7/8"	3 barras	4/8"	3 barras	E#3 c/8,75

Tabla 5.28. Características de las cruceteas diseñadas (Continuación)

Base (cm)	Altura (cm)	Recubrimiento (cm)	Longitud (m)	Carga de rotura (kg)	Momento (ton-m)	Refuerzo Superior		Refuerzo inferior		Estribos
25	45	5	4,0	2000	10,16	5/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	45	5	4,0	2500	12,16	6/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	45	5	4,0	3000	14,16	6/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	45	5	4,0	3500	16,16	7/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	45	5	4,5	2000	11,73	6/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	45	5	4,5	2500	13,98	6/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	45	5	4,5	3000	16,23	7/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	45	5	4,5	3500	18,48	7/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/10
25	50	5	5,0	2000	13,75	6/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/11,25
25	50	5	5,0	2500	16,25	6/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/11,25
25	50	5	5,0	3000	18,75	7/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/11,25
25	50	5	5,0	3500	21,25	7/8"	4 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/11,25
30	60	5	5,75	2000	18,64	6/8"	4 barras	5/8"	4 barras	E#3 c/13,75
30	60	5	5,75	2500	21,52	6/8"	5 barras	5/8"	4 barras	E#3 c/13,75
30	60	5	5,75	3000	24,39	6/8"	5 barras	5/8"	4 barras	E#3 c/13,75
30	60	5	5,75	3500	27,27	6/8"	6 barras	5/8"	4 barras	E#3 c/13,75
30	60	5	6,0	2000	19,78	6/8"	4 barras	5/8"	4 barras	E#3 c/13,75
30	60	5	6,0	2500	22,78	6/8"	5 barras	5/8"	4 barras	E#3 c/13,75
30	60	5	6,0	3000	25,78	6/8"	6 barras	5/8"	4 barras	E#3 c/13,75
30	50	5	6,0	3500	27,48	7/8"	6 barras	5/8"	3 barras	E#3 c/11,25

## 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

### 6.1 GENERALIDADES

**6.1.1 Introducción.** Este capítulo analiza la viabilidad de implementar la construcción y utilización de las estructuras diseñadas en este proyecto.

El presente Proyecto esta enmarcado dentro de la fase de preinversión del programa final de Pretecor, cuyo objetivo final es la comercialización y distribución de estructuras auto soportantes para niveles de tensión de 230, 115 y 34,5 kV; a su vez, esta fase se encuentra dividida en las siguientes etapas: la idea, el perfil del proyecto y el estudio de prefactibilidad.

#### 6.1.2 Fase de preinversión

- En esta fase se llevan a cabo los estudios iniciales de costos de implementación y elaboración del producto (Estructura). Costos de transporte y montaje.
- Se realiza una estimación detallada de las principales variables (Costo y beneficio).
- Por ultimo, se concluye en la viabilidad del uso de las estructuras diseñadas.

**6.1.3 Idea.** Debido a la necesidad de expandir su mercado, Pretecor busca nuevas alternativas de productos para ofrecer a las empresas constructoras de líneas de transmisión de energía eléctrica, surgiendo así la base de este estudio y la posibilidad de diseñar estructuras para tensiones eléctrica de 34,5, 115 y 230 kV.

Determinada esta necesidad y la capacidad de proveer al sistema eléctrico nacional y sistemas eléctricos de otros países, estructuras que cumplan con los mismos criterios eléctricos y mecánicos, además, de la oportunidad de cambiar la imagen de los soportes y economizar costos; PRETECOR ha encontrado la manera de ampliar su producción y cobertura, consiguiendo con ello, ser reconocida como empresa líder en el mercado nacional, en diseño y construcción de estructuras de concreto de media y alta tensión (niveles de tensión de 115 kV y 230 kV ).

La fortaleza principal que posee la empresa, es que el diseño de las estructuras se realizó en base a la capacidad de producción y construcción de estructuras que posee, concluyendo así, que PRETECOR LTDA tiene toda la capacidad, facultades, capital humano e infraestructura para llevar a cabo dicho proyecto.

**6.1.4 Perfil del proyecto.** Siguiendo con el estudio, se implementará un análisis del costo de las estructuras diseñadas, analizando costo por longitud de la estructura y carga de rotura de la misma; el siguiente análisis será el de costo total por construcción, transporte y montaje comparado con el mismo estudio para las estructuras metálicas, para demostrar la viabilidad del uso de las estructuras diseñadas y el ahorro económico en su uso.

**6.1.5 Estudio de prefactibilidad.** Para este estudio se identifican y estiman los costos y beneficios que traerá el proyecto.

Los costos de la estructura de concreto se estimarán por  $m^3$ , y por el lado de los beneficios, se analizará principalmente el impacto que de el desarrollo de este proyecto a la empresa PRETECOR LTDA en su programa de producción, dando capital y ganancia económica y mirar una posible expansión de la planta, dando la necesidad de adquirir mas capital humano generando nuevos empleos.

La inversión inicial que realizará la empresa será mínima, y como se mencionó anteriormente, el proyecto se desarrolló en base a la capacidad de producción actual de PRETECOR, pero para un futuro, y de acuerdo a las ganancias y beneficios que provee la implementación de este trabajo de grado a la empresa, PRETECOR planea expandir su infraestructura y capacidad de producción.

Entre los inconvenientes que se pueden presentar en el desarrollo de este proyecto, se encuentra como principal causa, el costo de transporte y montaje de las estructuras debido a su gran peso y longitud, por esto se realizará este estudio económico, para determinar los costos totales.

Se realizará una parte inicial de un gran estudio, en el cual no solo se requiere de estudiantes de ingeniería eléctrica y de ingeniería civil, sino también, de la participación de mas capital intelectual para realizar nuevos estudios y mejoras, como un estudio económico mas avanzado y técnico en el cual se determine las ganancias y beneficios que esté dando la implementación del programa, dando como fin, un estudio definitivo de la inversión que se realice y de operación.

**6.1.6 Estudio preliminar.** En esta sección se dará inicio al análisis de los resultados dados por las tablas, donde se muestra la diferencia de precios entre las estructuras de concreto (Diseñadas) y las metálicas. Para no hacer engorroso este estudio, solo se analizaran algunos casos particulares y se dará una explicación de las tablas para una correcta interpretación de las mismas.

La rentabilidad de la adquisición de las estructuras de concreto no solo radica en su bajo costo de construcción, sino también en la capacidad de carga en su base, esto es muy importante ya que la probabilidad de que una estructura de concreto se caiga o sea derribada es mínima, es muy importante porque incrementa el grado de confiabilidad que se le entregara tanto a las empresas transportadoras de energía como al usuario, quien es el mas beneficiado en todo este estudio.

## 6.2 RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 230 kV TIPO TERMINAL

Tabla 6.1. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito terminal con cruceta de 5 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	40	26 ton	8.32	\$ 67,408,839.41	\$ 105,846,000	\$ 38,437,160.59	57.02%
	38	26 ton	7.60	\$ 61,555,187.10	\$ 105,846,000	\$ 44,290,812.90	71.95%
	36	27 ton	6.92	\$ 56,012,394.13	\$ 109,917,000	\$ 53,904,605.87	96.24%
	34	28 ton	6.27	\$ 50,772,215.70	\$ 113,988,000	\$ 63,215,784.30	124.51%
	32	28 ton	5.66	\$ 45,826,407.01	\$ 113,988,000	\$ 68,161,592.99	148.74%
	30	28 ton	5.08	\$ 41,166,723.27	\$ 113,988,000	\$ 72,821,276.73	176.89%
	28	28 ton	4.54	\$ 36,784,919.69	\$ 113,988,000	\$ 77,203,080.31	209.88%
	26	28 ton	4.03	\$ 32,672,751.46	\$ 113,988,000	\$ 81,315,248.54	248.88%
	40	21 ton	7.95	\$ 64,394,972.13	\$ 85,491,000	\$ 21,096,027.87	32.76%
	38	21 ton	7.25	\$ 58,739,153.57	\$ 85,491,000	\$ 26,751,846.43	45.54%
	36	21 ton	6.59	\$ 53,389,232.20	\$ 85,491,000	\$ 32,101,767.80	60.13%
	34	21 ton	5.97	\$ 48,336,963.22	\$ 85,491,000	\$ 37,154,036.78	76.86%
32	21 ton	5.38	\$ 43,574,101.85	\$ 85,491,000	\$ 41,916,898.15	96.20%	
2	30	21 ton	5.08	\$ 27,444,482.18	\$ 85,491,000	\$ 58,046,517.82	211.51%
	28	23 ton	4.54	\$ 24,523,279.79	\$ 93,633,000	\$ 69,109,720.21	281.81%
	26	23 ton	4.03	\$ 21,781,834.31	\$ 93,633,000	\$ 71,851,165.69	329.87%

Tabla 6.2. Resultados obtenidos para la estructura triangular terminal con cruceta de 5 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	40	26 ton	8.32	\$ 67,408,839.41	\$ 105,846,000	\$ 38,437,160.59	57.02%
	38	26 ton	7.60	\$ 61,555,187.10	\$ 105,846,000	\$ 44,290,812.90	71.95%
	36	26 ton	6.92	\$ 56,012,394.13	\$ 105,846,000	\$ 49,833,605.87	88.97%
	34	26 ton	6.27	\$ 50,772,215.70	\$ 105,846,000	\$ 55,073,784.30	108.47%
	32	26 ton	5.66	\$ 45,826,407.01	\$ 105,846,000	\$ 60,019,592.99	130.97%
	30	26 ton	5.08	\$ 41,166,723.27	\$ 105,846,000	\$ 64,679,276.73	157.12%
	28	26 ton	4.54	\$ 36,784,919.69	\$ 105,846,000	\$ 69,061,080.31	187.74%
	26	28 ton	4.03	\$ 32,672,751.46	\$ 113,988,000	\$ 81,315,248.54	248.88%
2	32	21 ton	5.66	\$ 30,550,938.01	\$ 85,491,000	\$ 54,940,061.99	179.83%
	30	23 ton	5.08	\$ 27,444,482.18	\$ 93,633,000	\$ 66,188,517.82	241.17%
	28	23 ton	4.54	\$ 24,523,279.79	\$ 93,633,000	\$ 69,109,720.21	281.81%
	26	23 ton	4.03	\$ 21,781,834.31	\$ 93,633,000	\$ 71,851,165.69	329.87%

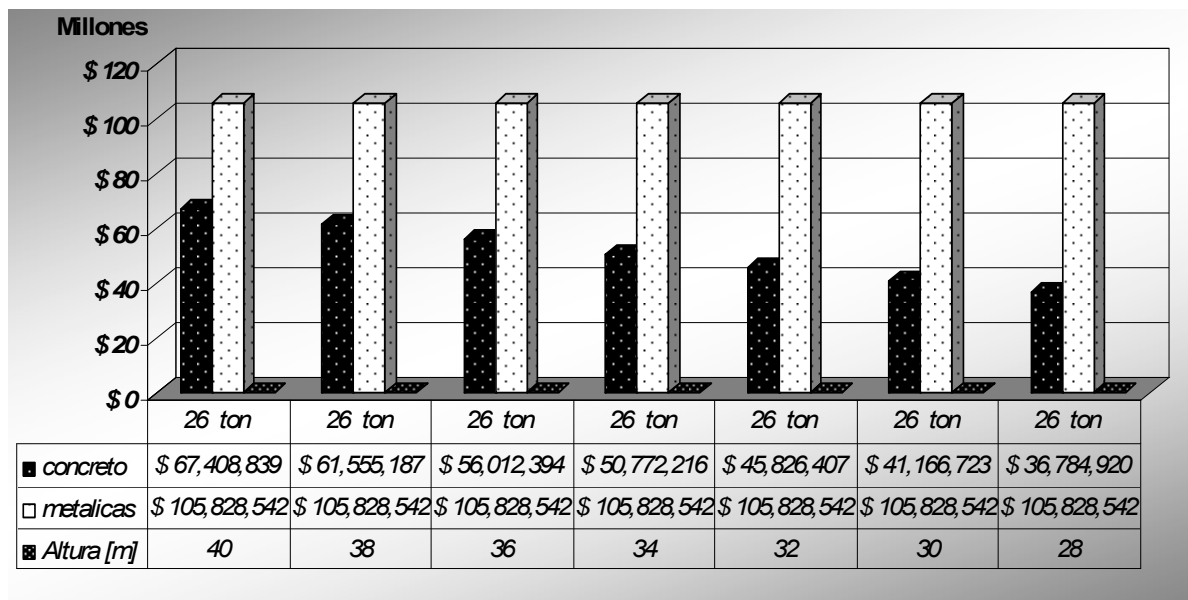
Tabla 6.3. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito terminal con cruceta de 5,75 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	38	16 ton	7,25	\$ 58.739.154	\$ 65.136.000	\$ 6.396.846,43	10,89%
	36	16 ton	6,59	\$ 53.389.232	\$ 65.136.000	\$ 11.746.767,80	22,00%
	34	16 ton	5,97	\$ 48.336.963	\$ 65.136.000	\$ 16.799.036,78	34,75%
	32	16 ton	5,38	\$ 43.574.102	\$ 65.136.000	\$ 21.561.898,15	49,48%
	30	16 ton	4,83	\$ 39.092.403	\$ 65.136.000	\$ 26.043.596,72	66,62%
	28	16 ton	4,31	\$ 34.883.623	\$ 65.136.000	\$ 30.252.377,29	86,72%
	26	16 ton	3,82	\$ 30.939.515	\$ 65.136.000	\$ 34.196.484,64	110,53%
	24	16 ton	3,36	\$ 27.251.836	\$ 65.136.000	\$ 37.884.163,58	139,02%
2	28	13 ton	4,54	\$ 24.523.280	\$ 52.923.000	\$ 28.399.720,21	115,81%
	26	13 ton	4,03	\$ 21.781.834	\$ 52.923.000	\$ 31.141.165,69	142,97%
	24	13 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 52.923.000	\$ 33.708.350,80	175,43%

Tabla 6.4. Resultados obtenidos para la estructura triangular terminal con cruceta de 5,75 m de longitud a 230 kV

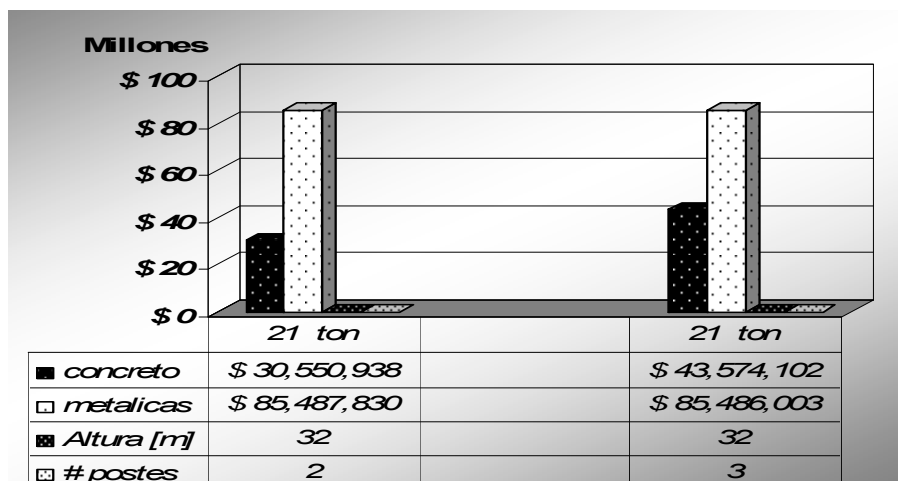
NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	40	16 ton	7,95	\$ 64.394.972	\$ 65.136.000	\$ 741.027,87	1,15%
	38	16 ton	7,25	\$ 58.739.154	\$ 65.136.000	\$ 6.396.846,43	10,89%
	36	16 ton	6,59	\$ 53.389.232	\$ 65.136.000	\$ 11.746.767,80	22,00%
	34	16 ton	5,97	\$ 48.336.963	\$ 65.136.000	\$ 16.799.036,78	34,75%
	32	16 ton	5,38	\$ 43.574.102	\$ 65.136.000	\$ 21.561.898,15	49,48%
	30	16 ton	4,83	\$ 39.092.403	\$ 65.136.000	\$ 26.043.596,72	66,62%
	28	16 ton	4,31	\$ 34.883.623	\$ 65.136.000	\$ 30.252.377,29	86,72%
	26	16 ton	3,82	\$ 30.939.515	\$ 65.136.000	\$ 34.196.484,64	110,53%
2	24	16 ton	3,36	\$ 27.251.836	\$ 65.136.000	\$ 37.884.163,58	139,02%
	28	13 ton	4,54	\$ 24.523.280	\$ 52.923.000	\$ 28.399.720,21	115,81%
	26	13 ton	4,03	\$ 21.781.834	\$ 52.923.000	\$ 31.141.165,69	142,97%
	24	13 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 52.923.000	\$ 33.708.350,80	175,43%

Figura 6.1. Comportamiento del precio de estructuras metálicas vs. concreto, para la misma carga en la punta, estructura de 230 kV tipo terminal



Independientemente de que la altura de las estructuras metálicas esté variando el precio es constante mientras su carga de rotura es constante y para las estructuras de concreto (Diseñadas) ocurre lo contrario, lo cual se debe a que el precio de estas estructuras depende del volumen.

Figura 6.2. Variación del precio de la estructura de concreto respecto a la cantidad de postes que la conforman, estructura de 230 kV tipo terminal



El costo de las estructuras de concreto no solo depende de la altura para la cual fue diseñada sino también depende de la cantidad de postes que la conforman. Se ha analizado los casos particulares para los resultados obtenidos en las tablas de la 6.1 a la 6.4.

### 6.3 RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 230 KV TIPO RETENCIÓN

Tabla 6.5. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito en retención con cruceta de 5 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	40	20 ton	9.71	\$ 78,673,334.03	\$ 81,420,000.00	\$ 2,746,665.97	3.49%
	38	20 ton	8.82	\$ 71,451,927.78	\$ 81,420,000.00	\$ 9,968,072.22	13.95%
	36	21 ton	7.98	\$ 64,652,940.09	\$ 85,491,000.00	\$ 20,838,059.91	32.23%
	34	23 ton	7.19	\$ 58,263,647.49	\$ 93,633,000.00	\$ 35,369,352.51	60.71%
	32	24 ton	6.45	\$ 52,271,326.53	\$ 97,704,000.00	\$ 45,432,673.47	86.92%
	30	25 ton	5.76	\$ 46,663,253.78	\$ 101,775,000.00	\$ 55,111,746.22	118.11%
	28	26 ton	5.11	\$ 41,426,705.77	\$ 105,846,000.00	\$ 64,419,294.23	155.50%
	26	28 ton	4.51	\$ 36,548,959.06	\$ 113,988,000.00	\$ 77,439,040.94	211.88%
	40	14 ton	9.29	\$ 75,252,316.34	\$ 56,994,000.00	-\$ 18,258,316.34	-24.26%
	38	14 ton	8.43	\$ 68,268,441.01	\$ 56,994,000.00	-\$ 11,274,441.01	-16.51%
	36	14 ton	7.62	\$ 61,699,986.33	\$ 56,994,000.00	-\$ 4,705,986.33	-7.63%
	34	17 ton	6.86	\$ 55,534,228.84	\$ 69,207,000.00	\$ 13,672,771.16	24.62%
	32	17 ton	6.14	\$ 49,758,445.11	\$ 69,207,000.00	\$ 19,448,554.89	39.09%
	30	17 ton	5.48	\$ 44,359,911.68	\$ 69,207,000.00	\$ 24,847,088.32	56.01%
	28	17 ton	4.86	\$ 39,325,905.10	\$ 69,207,000.00	\$ 29,881,094.90	75.98%
	26	19 ton	4.28	\$ 34,643,701.91	\$ 77,349,000.00	\$ 42,705,298.09	123.27%
	40	14 ton	8.87	\$ 71,885,373.32	\$ 56,994,000.00	-\$ 14,891,373.32	-20.72%
	38	14 ton	8.04	\$ 65,136,325.17	\$ 56,994,000.00	-\$ 8,142,325.17	-12.50%
	36	14 ton	7.26	\$ 58,795,699.76	\$ 56,994,000.00	-\$ 1,801,699.76	-3.06%
	34	16 ton	6.52	\$ 52,850,773.66	\$ 65,136,000.00	\$ 12,285,226.34	23.25%
32	16 ton	5.84	\$ 47,288,823.42	\$ 65,136,000.00	\$ 17,847,176.58	37.74%	
30	16 ton	5.20	\$ 42,097,125.57	\$ 65,136,000.00	\$ 23,038,874.43	54.73%	
28	16 ton	4.60	\$ 37,262,956.68	\$ 65,136,000.00	\$ 27,873,043.32	74.80%	
26	18 ton	4.05	\$ 32,773,593.29	\$ 73,278,000.00	\$ 40,504,406.71	123.59%	

Tabla 6.6. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito en retención con cruceta de 5,75 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	40	21 ton	8.32	\$ 67,408,839.41	\$ 85,491,000.00	\$ 18,082,160.59	26.82%
	38	21 ton	7.60	\$ 61,555,187.10	\$ 85,491,000.00	\$ 23,935,812.90	38.89%
	36	24 ton	6.92	\$ 56,012,394.13	\$ 97,704,000.00	\$ 41,691,605.87	74.43%
	34	25 ton	6.27	\$ 50,772,215.70	\$ 101,775,000.00	\$ 51,002,784.30	100.45%
	32	26 ton	5.66	\$ 45,826,407.01	\$ 105,846,000.00	\$ 60,019,592.99	130.97%
	30	26 ton	5.08	\$ 41,166,723.27	\$ 105,846,000.00	\$ 64,679,276.73	157.12%
	28	26 ton	4.54	\$ 36,784,919.69	\$ 105,846,000.00	\$ 69,061,080.31	187.74%
	26	26 ton	4.03	\$ 32,672,751.46	\$ 105,846,000.00	\$ 73,173,248.54	223.96%
	40	16 ton	7.95	\$ 64,394,972.13	\$ 65,136,000.00	\$ 741,027.87	1.15%
	38	16 ton	7.25	\$ 58,739,153.57	\$ 65,136,000.00	\$ 6,396,846.43	10.89%
	36	16 ton	6.59	\$ 53,389,232.20	\$ 65,136,000.00	\$ 11,746,767.80	22.00%
	34	17 ton	5.97	\$ 48,336,963.22	\$ 69,207,000.00	\$ 20,870,036.78	43.18%
	32	17 ton	5.38	\$ 43,574,101.85	\$ 69,207,000.00	\$ 25,632,898.15	58.83%
	30	18 ton	4.83	\$ 39,092,403.28	\$ 73,278,000.00	\$ 34,185,596.72	87.45%
	28	19 ton	4.31	\$ 34,883,622.71	\$ 77,349,000.00	\$ 42,465,377.29	121.73%
	26	19 ton	3.82	\$ 30,939,515.36	\$ 77,349,000.00	\$ 46,409,484.64	150.00%
	40	6 ton	7.58	\$ 61,435,179.52	\$ 24,426,000.00	-\$ 37,009,179.52	-60.24%
	38	6 ton	6.91	\$ 55,974,490.97	\$ 24,426,000.00	-\$ 31,548,490.97	-56.36%
	36	6 ton	6.27	\$ 50,814,737.47	\$ 24,426,000.00	-\$ 26,388,737.47	-51.93%
	34	6 ton	5.67	\$ 45,947,674.22	\$ 24,426,000.00	-\$ 21,521,674.22	-46.84%
32	6 ton	5.11	\$ 41,365,056.42	\$ 24,426,000.00	-\$ 16,939,056.42	-40.95%	
30	6 ton	4.58	\$ 37,058,639.28	\$ 24,426,000.00	-\$ 12,632,639.28	-34.09%	
28	6 ton	4.08	\$ 33,020,178.00	\$ 24,426,000.00	-\$ 8,594,178.00	-26.03%	
26	6 ton	3.61	\$ 29,241,427.78	\$ 24,426,000.00	-\$ 4,815,427.78	-16.47%	

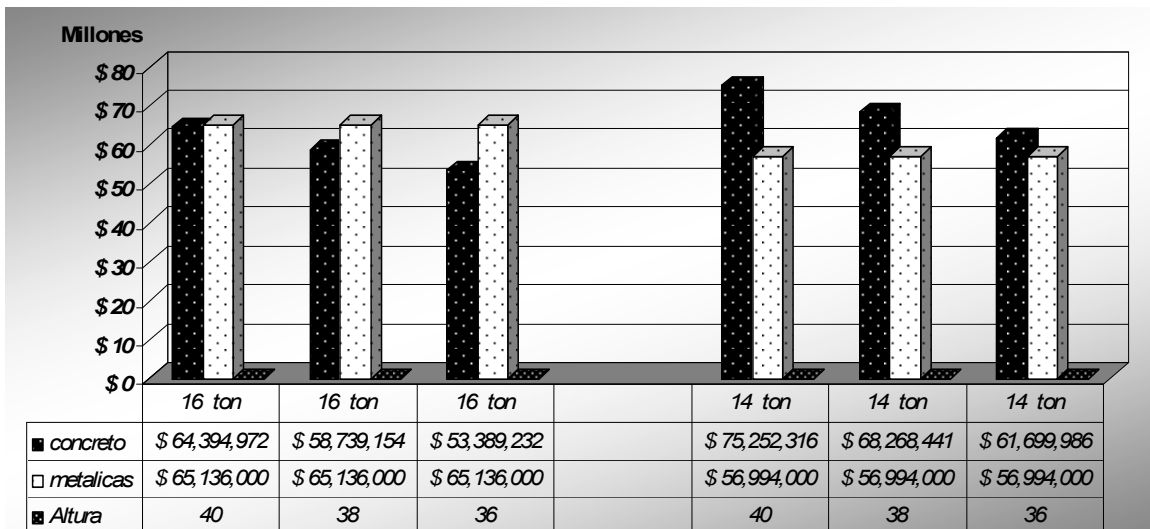
Tabla 6.7. Resultados obtenidos para la estructura triangular en retención con cruceta de 5 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	36	22 ton	6,92	\$ 56.012.394	\$ 89.562.000	\$ 33.549.605	59,90%
	34	24 ton	6,27	\$ 50.772.216	\$ 97.704.000	\$ 46.931.784	92,44%
	32	25 ton	5,66	\$ 45.826.407	\$ 101.775.000	\$ 55.948.592	122,09%
	30	25 ton	5,08	\$ 41.166.723	\$ 101.775.000	\$ 60.608.276	147,23%
	28	25 ton	4,54	\$ 36.784.920	\$ 101.775.000	\$ 64.990.080	176,68%
	26	25 ton	4,03	\$ 32.672.751	\$ 101.775.000	\$ 69.102.248	211,50%
	36	20 ton	6,59	\$ 53.389.232	\$ 81.420.000	\$ 28.030.767	52,50%
	34	21 ton	5,97	\$ 48.336.963	\$ 85.491.000	\$ 37.154.036	76,86%
	32	22 ton	5,38	\$ 43.574.102	\$ 89.562.000	\$ 45.987.898	105,54%
	30	22 ton	4,83	\$ 39.092.403	\$ 89.562.000	\$ 50.469.596	129,10%
	28	25 ton	4,31	\$ 34.883.623	\$ 101.775.000	\$ 66.891.377	191,76%
	26	25 ton	3,82	\$ 30.939.515	\$ 101.775.000	\$ 70.835.484	228,95%
	36	10 ton	6,27	\$ 50.814.737	\$ 40.710.000	-\$ 10.104.737	-19,89%
	34	10 ton	5,67	\$ 45.947.674	\$ 40.710.000	-\$ 5.237.674	-11,40%
	32	10 ton	5,11	\$ 41.365.056	\$ 40.710.000	-\$ 655.056	-1,58%
	30	11 ton	4,58	\$ 37.058.639	\$ 44.781.000	\$ 7.722.360	20,84%
	28	13 ton	4,08	\$ 33.020.178	\$ 52.923.000	\$ 19.902.822	60,27%
	26	13 ton	3,61	\$ 29.241.428	\$ 52.923.000	\$ 23.681.572	80,99%
24	18 ton	3,17	\$ 25.714.144	\$ 73.278.000	\$ 47.563.856	184,97%	

Tabla 6.8. Resultados obtenidos para la estructura triangular en retención con cruceta de 5,75 m de longitud a 230 kV

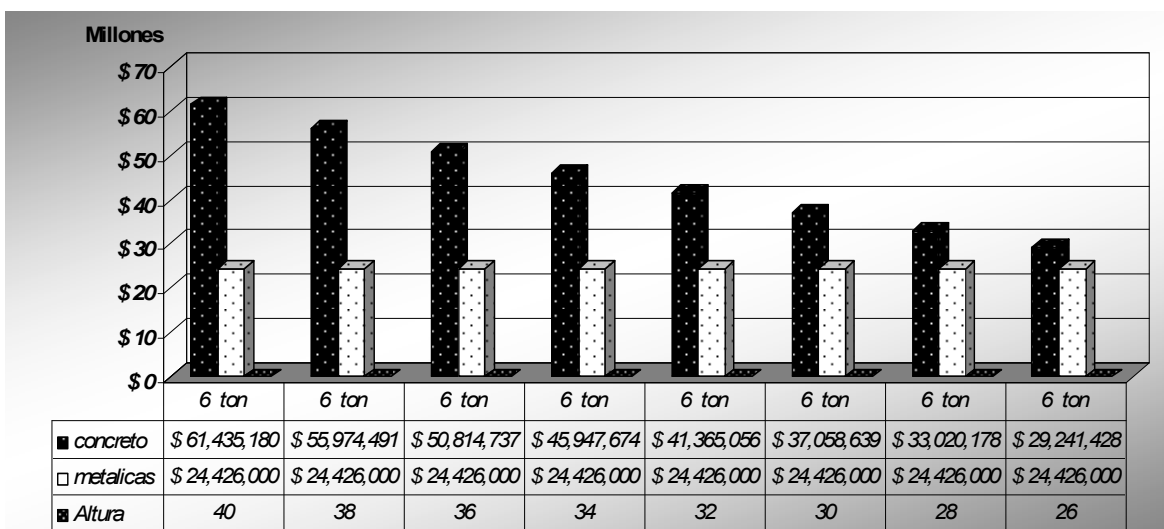
NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	36	22 ton	6,92	\$ 56.012.394	\$ 89.562.000	\$ 33.549.605,87	59,90%
	34	22 ton	6,27	\$ 50.772.216	\$ 89.562.000	\$ 38.789.784,30	76,40%
	32	22 ton	5,66	\$ 45.826.407	\$ 89.562.000	\$ 43.735.592,99	95,44%
	30	22 ton	5,08	\$ 41.166.723	\$ 89.562.000	\$ 48.395.276,73	117,56%
	28	26 ton	4,54	\$ 36.784.920	\$ 105.846.000	\$ 69.061.080,31	187,74%
	26	26 ton	4,03	\$ 32.672.751	\$ 105.846.000	\$ 73.173.248,54	223,96%
	24	26 ton	3,56	\$ 28.821.974	\$ 105.846.000	\$ 77.024.026,20	267,24%
	36	18 ton	6,59	\$ 53.389.232	\$ 73.278.000	\$ 19.888.767,80	37,25%
	34	18 ton	5,97	\$ 48.336.963	\$ 73.278.000	\$ 24.941.036,78	51,60%
	32	22 ton	5,38	\$ 43.574.102	\$ 89.562.000	\$ 45.987.898,15	105,54%
	30	22 ton	4,83	\$ 39.092.403	\$ 89.562.000	\$ 50.469.596,72	129,10%
	28	25 ton	4,31	\$ 34.883.623	\$ 101.775.000	\$ 66.891.377,29	191,76%
	26	25 ton	3,82	\$ 30.939.515	\$ 101.775.000	\$ 70.835.484,64	228,95%
	24	25 ton	3,36	\$ 27.251.836	\$ 101.775.000	\$ 74.523.163,58	273,46%
	36	11 ton	6,27	\$ 50.814.737	\$ 44.781.000	-\$ 6.033.737,47	-11,87%
	34	11 ton	5,67	\$ 45.947.674	\$ 44.781.000	-\$ 1.166.674,22	-2,54%
	32	11 ton	5,11	\$ 41.365.056	\$ 44.781.000	\$ 3.415.943,58	8,26%
	30	11 ton	4,58	\$ 37.058.639	\$ 44.781.000	\$ 7.722.360,72	20,84%
	28	13 ton	4,08	\$ 33.020.178	\$ 52.923.000	\$ 19.902.822,00	60,27%
	26	13 ton	3,61	\$ 29.241.428	\$ 52.923.000	\$ 23.681.572,22	80,99%
24	17 ton	3,17	\$ 25.714.144	\$ 69.207.000	\$ 43.492.856,16	169,14%	
22	18 ton	2,77	\$ 22.430.081	\$ 73.278.000	\$ 50.847.918,62	226,70%	
20	21 ton	2,39	\$ 19.380.996	\$ 85.491.000	\$ 66.110.004,41	341,11%	
18	21 ton	2,04	\$ 16.558.642	\$ 85.491.000	\$ 68.932.358,32	416,29%	

Figura 6.3. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto para cargas en la punta pequeñas, estructura de 230 kV tipo retención



El uso de las estructuras de concreto tipo retención es más rentable para cargas en la punta mayores de 14 toneladas, situación presente en la mayoría de las solicitudes mecánicas a las cuales están sometidas las estructuras a niveles de tensión de 230 kV, de igual forma quien determina la selección y uso una estructura, es el ente o empresa diseñadora de la línea de transmisión de energía eléctrica.

Figura 6.4. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto para cargas en la punta muy pequeñas. Estructura de 230 kV tipo Retención



## 6.4 RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 230 kV TIPO SUSPENSIÓN

Tabla 6.9. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito en suspensión con cruceta de 5 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	40	11 ton	7.58	\$ 61,435,179.52	\$ 44,781,000	-\$ 16,654,179.52	-27.11%
	38	11 ton	6.91	\$ 55,974,490.97	\$ 44,781,000	-\$ 11,193,490.97	-20.00%
	36	11 ton	6.27	\$ 50,814,737.47	\$ 44,781,000	-\$ 6,033,737.47	-11.87%
	36	6 ton	5.96	\$ 48,288,909.93	\$ 24,426,000	-\$ 23,862,909.93	-49.42%
	34	7 ton	5.38	\$ 43,604,348.67	\$ 28,497,000	-\$ 15,107,348.67	-34.65%
	32	7 ton	4.84	\$ 39,199,270.72	\$ 28,497,000	-\$ 10,702,270.72	-27.30%
2	38	3 ton	7.60	\$ 41,036,791.40	\$ 12,213,000	-\$ 28,823,791.40	-70.24%
	36	4 ton	6.92	\$ 37,341,596.09	\$ 16,284,000	-\$ 21,057,596.09	-56.39%
	34	4 ton	6.27	\$ 33,848,143.80	\$ 16,284,000	-\$ 17,564,143.80	-51.89%
	32	5 ton	5.66	\$ 30,550,938.01	\$ 20,355,000	-\$ 10,195,938.01	-33.37%
	30	5 ton	5.08	\$ 27,444,482.18	\$ 20,355,000	-\$ 7,089,482.18	-25.83%
	28	5 ton	4.54	\$ 24,523,279.79	\$ 20,355,000	-\$ 4,168,279.79	-17.00%

Tabla 6.10. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito en suspensión con cruceta de 5,75 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	40	13 ton	7.95	\$ 64,394,972.13	\$ 52,923,000	-\$ 11,471,972.13	-17.82%
	38	13 ton	7.25	\$ 58,739,153.57	\$ 52,923,000	-\$ 5,816,153.57	-9.90%
	36	13 ton	6.59	\$ 53,389,232.20	\$ 52,923,000	-\$ 466,232.20	-0.87%
	34	13 ton	5.97	\$ 48,336,963.22	\$ 52,923,000	\$ 4,586,036.78	9.49%
	32	13 ton	5.38	\$ 43,574,101.85	\$ 52,923,000	\$ 9,348,898.15	21.46%
	40	7 ton	7.58	\$ 61,435,179.52	\$ 28,497,000	-\$ 32,938,179.52	-53.61%
	38	7 ton	6.91	\$ 55,974,490.97	\$ 28,497,000	-\$ 27,477,490.97	-49.09%
	36	7 ton	6.27	\$ 50,814,737.47	\$ 28,497,000	-\$ 22,317,737.47	-43.92%
	34	7 ton	5.67	\$ 45,947,674.22	\$ 28,497,000	-\$ 17,450,674.22	-37.98%
2	34	11 ton	6.27	\$ 33,848,143.80	\$ 44,781,000	\$ 10,932,856.20	32.30%
	32	5 ton	5.66	\$ 30,550,938.01	\$ 20,355,000	-\$ 10,195,938.01	-33.37%
	30	5 ton	5.08	\$ 27,444,482.18	\$ 20,355,000	-\$ 7,089,482.18	-25.83%

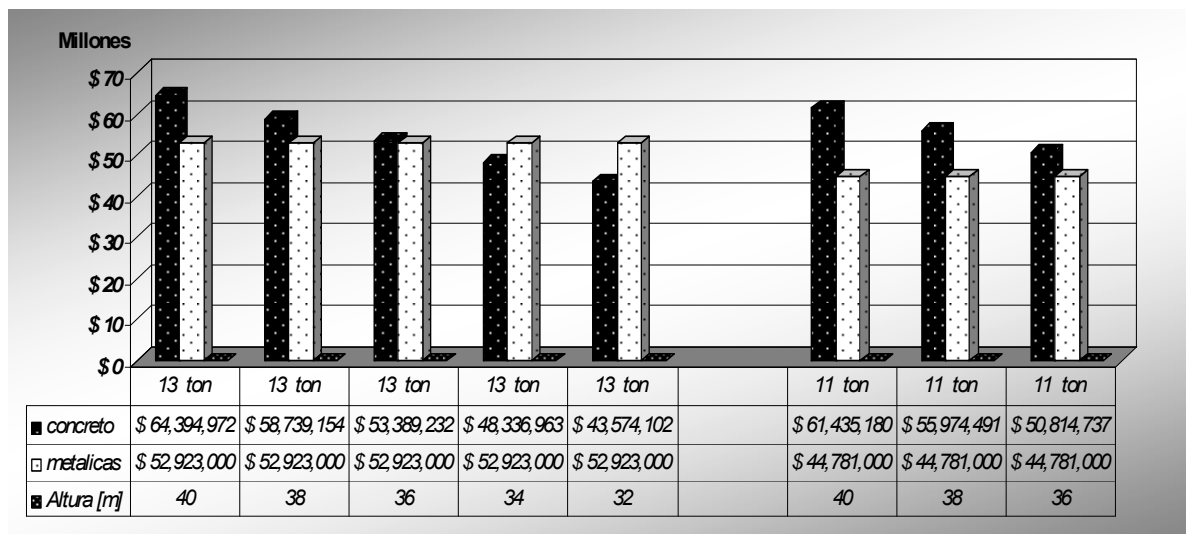
Tabla 6.11. Resultados obtenidos para la estructura triangular en suspensión con cruceta de 5 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	38	6 ton	6,91	\$ 55.974.491	\$ 24.426.000	-\$ 31.548.490,97	-56,36%
	36	6 ton	6,27	\$ 50.814.737	\$ 24.426.000	-\$ 26.388.737,47	-51,93%
	34	6 ton	5,67	\$ 45.947.674	\$ 24.426.000	-\$ 21.521.674,22	-46,84%
	32	6 ton	5,11	\$ 41.365.056	\$ 24.426.000	-\$ 16.939.056,42	-40,95%
	30	6 ton	4,58	\$ 37.058.639	\$ 24.426.000	-\$ 12.632.639,28	-34,09%
	28	6 ton	4,08	\$ 33.020.178	\$ 24.426.000	-\$ 8.594.178,00	-26,03%
	26	6 ton	3,61	\$ 29.241.428	\$ 24.426.000	-\$ 4.815.427,78	-16,47%
	24	6 ton	3,17	\$ 25.714.144	\$ 24.426.000	-\$ 1.288.143,84	-5,01%
2	22	6 ton	2,77	\$ 22.430.081	\$ 24.426.000	\$ 1.995.918,62	8,90%
	28	3 ton	4,54	\$ 24.523.280	\$ 12.213.000	-\$ 12.310.279,79	-50,20%
	26	3 ton	4,03	\$ 21.781.834	\$ 12.213.000	-\$ 9.568.834,31	-43,93%
	24	3 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 12.213.000	-\$ 7.001.649,20	-36,44%
	22	3 ton	3,11	\$ 16.816.228	\$ 12.213.000	-\$ 4.603.227,93	-27,37%

Tabla 6.12. Resultados obtenidos para la estructura triangular en suspensión con cruceta de 5,75 m de longitud a 230 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	38	6 ton	6,91	\$ 55.974.491	\$ 24.426.000	-\$ 31.548.490,97	-56,36%
	36	6 ton	6,27	\$ 50.814.737	\$ 24.426.000	-\$ 26.388.737,47	-51,93%
	34	6 ton	5,67	\$ 45.947.674	\$ 24.426.000	-\$ 21.521.674,22	-46,84%
	32	6 ton	5,11	\$ 41.365.056	\$ 24.426.000	-\$ 16.939.056,42	-40,95%
	30	6 ton	4,58	\$ 37.058.639	\$ 24.426.000	-\$ 12.632.639,28	-34,09%
	28	6 ton	4,08	\$ 33.020.178	\$ 24.426.000	-\$ 8.594.178,00	-26,03%
	26	6 ton	3,61	\$ 29.241.428	\$ 24.426.000	-\$ 4.815.427,78	-16,47%
	24	6 ton	3,17	\$ 25.714.144	\$ 24.426.000	-\$ 1.288.143,84	-5,01%
2	22	6 ton	2,77	\$ 22.430.081	\$ 24.426.000	\$ 1.995.918,62	8,90%
	26	3 ton	4,03	\$ 21.781.834	\$ 12.213.000	-\$ 9.568.834,31	-43,93%
	24	3 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 12.213.000	-\$ 7.001.649,20	-36,44%
	22	3 ton	3,11	\$ 16.816.228	\$ 12.213.000	-\$ 4.603.227,93	-27,37%

Figura 6.5. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. Metálicas, estructura de 230 kV tipo suspensión



Para las estructuras de nivel de tensión eléctrica de 230 kV tipo suspensión, se puede afirmar que su uso es limitado si la longitud de la línea eléctrica es corta, debido a que para este tipo de estructuras el nivel exigido para la carga de rotura en la punta es mínimo.

Posteriormente en la sección 6.10 se realizará un análisis de costos, el cual abarcará precios de transporte y montaje para una línea de 100 km, destacando una limitante, para seleccionar hasta que punto es conveniente el uso de las estructuras de concreto.

## 6.5 RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 115 kV TIPO TERMINAL

Tabla 6.13. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito terminal con cruceta de 3,2 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	22	26 ton	3.11	\$ 25,224,341.90	\$ 105,846,000.00	\$ 80,621,658	319.62%

Tabla 6.14. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito terminal con cruceta de 3,7 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	24	24 ton	3.56	\$ 28,821,973.80	\$ 97,704,000.00	\$ 68,882,026	238.99%
	22	26 ton	3.11	\$ 25,224,341.90	\$ 105,846,000.00	\$ 80,621,658	319.62%

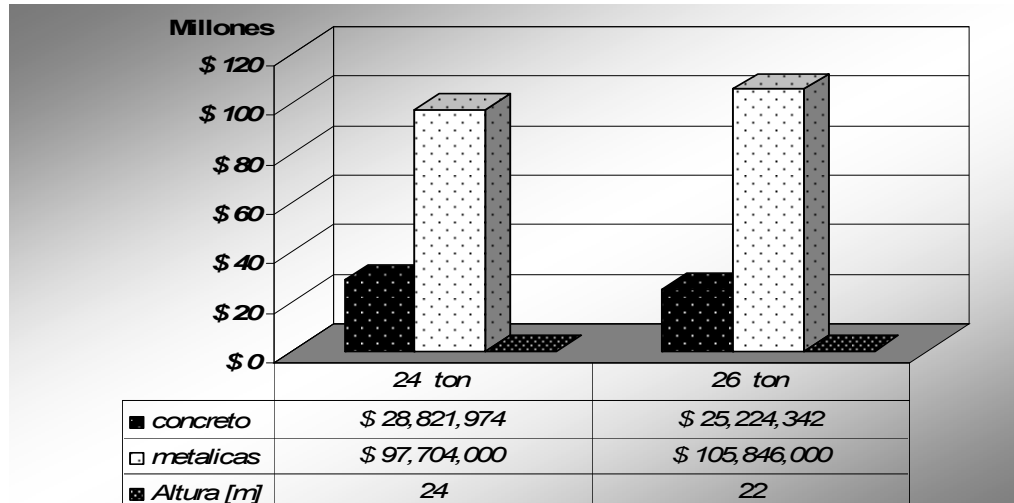
Tabla 6.15. Resultados obtenidos para la estructura triangular terminal con cruceta de 3,2 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
2	28	14 ton	4,54	\$ 24.523.280	\$ 56.994.000	\$ 32.470.720	132,41%
	26	14 ton	4,03	\$ 21.781.834	\$ 56.994.000	\$ 35.212.166	161,66%
	24	16 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 65.136.000	\$ 45.921.351	238,99%
	22	16 ton	3,11	\$ 16.816.228	\$ 65.136.000	\$ 48.319.772	287,34%
	20	19 ton	2,70	\$ 14.581.074	\$ 77.349.000	\$ 62.767.926	430,48%
	18	19 ton	2,32	\$ 12.503.691	\$ 77.349.000	\$ 64.845.309	518,61%

Tabla 6.16. Resultados obtenidos para la estructura triangular terminal con cruceta de 3,7 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	28	19 ton	4,54	\$ 36.784.920	\$ 77.349.000	\$ 40.564.080	110,27%
	26	19 ton	4,03	\$ 32.672.751	\$ 77.349.000	\$ 44.676.249	136,74%
	24	19 ton	3,56	\$ 28.821.974	\$ 77.349.000	\$ 48.527.026	168,37%
	22	19 ton	3,11	\$ 25.224.342	\$ 77.349.000	\$ 52.124.658	206,64%
	20	20 ton	2,70	\$ 21.871.611	\$ 81.420.000	\$ 59.548.389	272,26%
	18	20 ton	2,32	\$ 18.755.536	\$ 81.420.000	\$ 62.664.464	334,11%

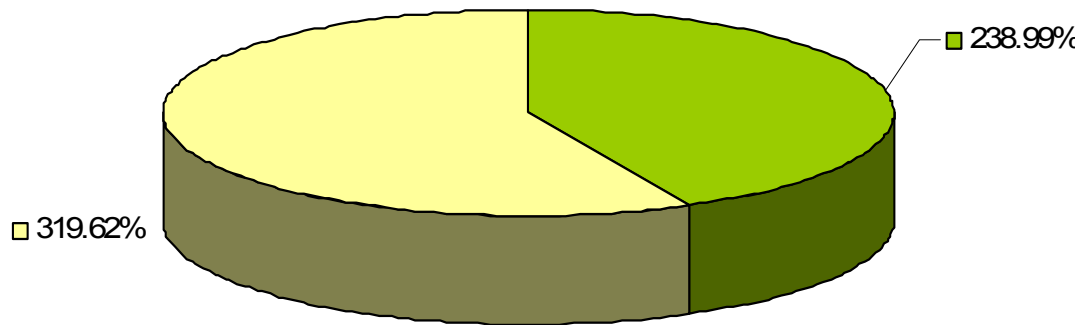
Figura 6.6. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. metálicas, estructura de 115 kV tipo terminal



La rentabilidad que muestra los resultados de precios de las estructuras de concreto con respecto a las metálicas es notable, esto se debe a que las alturas exigidas para este nivel de tensión eléctrica es menor, por lo tanto el precio de las estructuras de concreto es menor.

La grafica 6.7. muestra niveles de rentabilidad muy grandes, si traducimos esta rentabilidad en precios, se puede afirmar que por cada estructura metálica que se utilice, se podría usar cuatro (4) estructuras de concreto. Si se analiza un caso real, para un tramo de línea de 1 Km, teniendo como vano regulador 250 m para esta tensión, se determina que la cantidad de estructuras metálicas seria de cinco (5) y con este costo se montaría un tramo de línea de de 2,25 Km con estructuras de concreto, es allí donde se afirma la viabilidad de su uso.

Figura 6.7. Rentabilidad que ofrece el uso de las estructuras de concreto de la gráfica 6.2



## 6.6 RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 115 KV TIPO RETENCIÓN

Tabla 6.17. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito tipo retención con cruceta de 3,2 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	28	15 ton	5.11	\$ 41,426,705	\$ 61,065,000	\$ 19,638,294.23	47.40%
	26	17 ton	4.51	\$ 36,548,959	\$ 69,207,000	\$ 32,658,040.94	89.35%
	24	23 ton	3.95	\$ 32,017,290	\$ 93,633,000	\$ 61,615,709.80	192.45%
	22	23 ton	3.43	\$ 27,818,975	\$ 93,633,000	\$ 65,814,024.26	236.58%
	20	29 ton	2.96	\$ 23,941,292	\$ 118,059,000	\$ 94,117,707.79	393.12%
	18	31 ton	2.52	\$ 20,371,516	\$ 126,201,000	\$ 105,829,483.81	519.50%
	26	18 ton	4.28	\$ 34,643,701	\$ 73,278,000	\$ 38,634,298.09	111.52%
	24	18 ton	3.74	\$ 30,300,578	\$ 73,278,000	\$ 42,977,421.32	141.84%
	22	18 ton	3.24	\$ 26,283,811	\$ 73,278,000	\$ 46,994,188.06	178.80%
	20	22 ton	2.79	\$ 22,580,678	\$ 89,562,000	\$ 66,981,321.75	296.63%
2	18	22 ton	2.37	\$ 19,178,454	\$ 89,562,000	\$ 70,383,545.83	366.99%
	24	6 ton	3.95	\$ 21,344,860	\$ 24,426,000	\$ 3,081,139.87	14.44%
	22	6 ton	3.43	\$ 18,545,983	\$ 24,426,000	\$ 5,880,016.18	31.71%
	20	8 ton	2.96	\$ 15,960,861	\$ 32,568,000	\$ 16,607,138.52	104.05%
	18	8 ton	2.52	\$ 13,581,010	\$ 32,568,000	\$ 18,986,989.21	139.81%

Tabla 6.18. Resultados obtenidos para la estructura triangular tipo retención con cruceta de 3,2 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	30	15 ton	5,08	\$ 41.166.723	\$ 61.065.000	\$ 19.898.277	48,34%
	28	20 ton	4,54	\$ 36.784.920	\$ 81.420.000	\$ 44.635.080	121,34%
	26	24 ton	4,03	\$ 32.672.751	\$ 97.704.000	\$ 65.031.249	199,04%
	24	25 ton	3,56	\$ 28.821.974	\$ 101.775.000	\$ 72.953.026	253,12%
	22	25 ton	3,11	\$ 25.224.342	\$ 101.775.000	\$ 76.550.658	303,48%
	20	26 ton	2,70	\$ 21.871.611	\$ 105.846.000	\$ 83.974.389	383,94%
	18	28 ton	2,32	\$ 18.755.536	\$ 113.988.000	\$ 95.232.464	507,76%
	16	30 ton	1,96	\$ 15.867.873	\$ 122.130.000	\$ 106.262.127	669,67%
	30	12 ton	4,83	\$ 39.092.403	\$ 48.852.000	\$ 9.759.597	24,97%
	28	13 ton	4,31	\$ 34.883.623	\$ 52.923.000	\$ 18.039.377	51,71%
	26	16 ton	3,82	\$ 30.939.515	\$ 65.136.000	\$ 34.196.485	110,53%
	24	21 ton	3,36	\$ 27.251.836	\$ 85.491.000	\$ 58.239.164	213,71%
	22	21 ton	2,94	\$ 23.812.341	\$ 85.491.000	\$ 61.678.659	259,02%
	20	22 ton	2,54	\$ 20.612.785	\$ 89.562.000	\$ 68.949.215	334,50%
	18	23 ton	2,18	\$ 17.644.922	\$ 93.633.000	\$ 75.988.078	430,65%
	16	24 ton	1,84	\$ 14.900.509	\$ 97.704.000	\$ 82.803.491	555,71%
2	24	6 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 24.426.000	\$ 5.211.351	27,12%
	22	6 ton	3,11	\$ 16.816.228	\$ 24.426.000	\$ 7.609.772	45,25%
	20	7 ton	2,70	\$ 14.581.074	\$ 28.497.000	\$ 13.915.926	95,44%
	18	8 ton	2,32	\$ 12.503.691	\$ 32.568.000	\$ 20.064.309	160,47%
	16	8 ton	1,96	\$ 10.578.582	\$ 32.568.000	\$ 21.989.418	207,87%

Tabla 6.19. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito tipo retención con cruceta de 3,7 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	24	27 ton	3.56	\$ 28,821,973.80	\$ 109,917,000.00	\$ 81,095,026.20	281.37%
	22	29 ton	3.11	\$ 25,224,341.90	\$ 118,059,000.00	\$ 92,834,658.10	368.04%
	20	29 ton	2.70	\$ 21,871,610.97	\$ 118,059,000.00	\$ 96,187,389.03	439.78%
	30	9 ton	4.83	\$ 39,092,403.28	\$ 36,639,000.00	-\$ 2,453,403.28	-6.28%
	28	10 ton	4.31	\$ 34,883,622.71	\$ 40,710,000.00	\$ 5,826,377.29	16.70%
	26	12 ton	3.82	\$ 30,939,515.36	\$ 48,852,000.00	\$ 17,912,484.64	57.90%
	24	16 ton	3.36	\$ 27,251,836.42	\$ 65,136,000.00	\$ 37,884,163.58	139.02%
	22	19 ton	2.94	\$ 23,812,341.11	\$ 77,349,000.00	\$ 53,536,658.89	224.83%
	20	21 ton	2.54	\$ 20,612,784.62	\$ 85,491,000.00	\$ 64,878,215.38	314.75%
	30	7 ton	4.58	\$ 37,058,639.28	\$ 28,497,000.00	-\$ 8,561,639.28	-23.10%
	28	8 ton	4.08	\$ 33,020,178.00	\$ 32,568,000.00	-\$ 452,178.00	-1.37%
	26	8 ton	3.61	\$ 29,241,427.78	\$ 32,568,000.00	\$ 3,326,572.22	11.38%
	24	10 ton	3.17	\$ 25,714,143.84	\$ 40,710,000.00	\$ 14,995,856.16	58.32%
	22	13 ton	2.77	\$ 22,430,081.38	\$ 52,923,000.00	\$ 30,492,918.62	135.95%
	20	15 ton	2.39	\$ 19,380,995.59	\$ 61,065,000.00	\$ 41,684,004.41	215.08%

Tabla 6.20. Resultados obtenidos para la estructura triangular tipo retención con cruceta de 3,7 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	30	17 ton	5,08	\$ 41.166.723	\$ 69.207.000	\$ 28.040.277	68,11%
	28	22 ton	4,54	\$ 36.784.920	\$ 89.562.000	\$ 52.777.080	143,47%
	26	23 ton	4,03	\$ 32.672.751	\$ 93.633.000	\$ 60.960.249	186,58%
	24	25 ton	3,56	\$ 28.821.974	\$ 101.775.000	\$ 72.953.026	253,12%
	22	25 ton	3,11	\$ 25.224.342	\$ 101.775.000	\$ 76.550.658	303,48%
	20	27 ton	2,70	\$ 21.871.611	\$ 109.917.000	\$ 88.045.389	402,56%
	18	30 ton	2,32	\$ 18.755.536	\$ 122.130.000	\$ 103.374.464	551,17%
	16	31 ton	1,96	\$ 15.867.873	\$ 126.201.000	\$ 110.333.127	695,32%
	30	11 ton	4,83	\$ 39.092.403	\$ 44.781.000	\$ 5.688.597	14,55%
	28	13 ton	4,31	\$ 34.883.623	\$ 52.923.000	\$ 18.039.377	51,71%
	26	14 ton	3,82	\$ 30.939.515	\$ 56.994.000	\$ 26.054.485	84,21%
	24	20 ton	3,36	\$ 27.251.836	\$ 81.420.000	\$ 54.168.164	198,77%
	22	20 ton	2,94	\$ 23.812.341	\$ 81.420.000	\$ 57.607.659	241,92%
	20	24 ton	2,54	\$ 20.612.785	\$ 97.704.000	\$ 77.091.215	374,00%
	18	27 ton	2,18	\$ 17.644.922	\$ 109.917.000	\$ 92.272.078	522,94%
	16	27 ton	1,84	\$ 14.900.509	\$ 109.917.000	\$ 95.016.491	637,67%
	30	7 ton	4,58	\$ 37.058.639	\$ 28.497.000	-\$ 8.561.639	-23,10%
	28	7 ton	4,08	\$ 33.020.178	\$ 28.497.000	-\$ 4.523.178	-13,70%
	26	7 ton	3,61	\$ 29.241.428	\$ 28.497.000	-\$ 744.428	-2,55%
	24	9 ton	3,17	\$ 25.714.144	\$ 36.639.000	\$ 10.924.856	42,49%
	22	9 ton	2,77	\$ 22.430.081	\$ 36.639.000	\$ 14.208.919	63,35%
	20	14 ton	2,39	\$ 19.380.996	\$ 56.994.000	\$ 37.613.004	194,07%
	18	14 ton	2,04	\$ 16.558.642	\$ 56.994.000	\$ 40.435.358	244,19%
	16	14 ton	1,72	\$ 13.954.775	\$ 56.994.000	\$ 43.039.225	308,42%

## 6.7 RESULTADOS PARA ESTRUCTURAS DE 115 KV TIPO SUSPENSIÓN

Tabla 6.21. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito tipo suspensión con cruceta de 3,2 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
3	26	6 ton	3.40	\$ 27,578,488.74	\$ 24,426,000.00	-\$ 3,152,488.74	-11.43%
	24	6 ton	2.99	\$ 24,208,896.06	\$ 24,426,000.00	\$ 217,103.94	0.90%
	22	5 ton	2.60	\$ 21,077,562.71	\$ 20,355,000.00	-\$ 722,562.71	-3.43%
2	30	7 ton	5.08	\$ 27,444,482.18	\$ 28,497,000.00	\$ 1,052,517.82	3.84%
	28	7 ton	4.54	\$ 24,523,279.79	\$ 28,497,000.00	\$ 3,973,720.21	16.20%
	26	6 ton	4.03	\$ 21,781,834.31	\$ 24,426,000.00	\$ 2,644,165.69	12.14%
	24	6 ton	3.56	\$ 19,214,649.20	\$ 24,426,000.00	\$ 5,211,350.80	27.12%
	22	5 ton	3.11	\$ 16,816,227.93	\$ 20,355,000.00	\$ 3,538,772.07	21.04%

Tabla 6.22. Resultados obtenidos para la estructura triangular tipo suspensión con cruceta de 3,2 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
2	30	4 ton	5,08	\$ 27.444.482	\$ 16.284.000	-\$ 11.160.482	-40,67%
	28	4 ton	4,54	\$ 24.523.280	\$ 16.284.000	-\$ 8.239.280	-33,60%
	26	4 ton	4,03	\$ 21.781.834	\$ 16.284.000	-\$ 5.497.834	-25,24%
	24	4 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 16.284.000	-\$ 2.930.649	-15,25%
	22	4 ton	3,11	\$ 16.816.228	\$ 16.284.000	-\$ 532.228	-3,16%
	20	4 ton	2,70	\$ 14.581.074	\$ 16.284.000	\$ 1.702.926	11,68%
	18	4 ton	2,32	\$ 12.503.691	\$ 16.284.000	\$ 3.780.309	30,23%

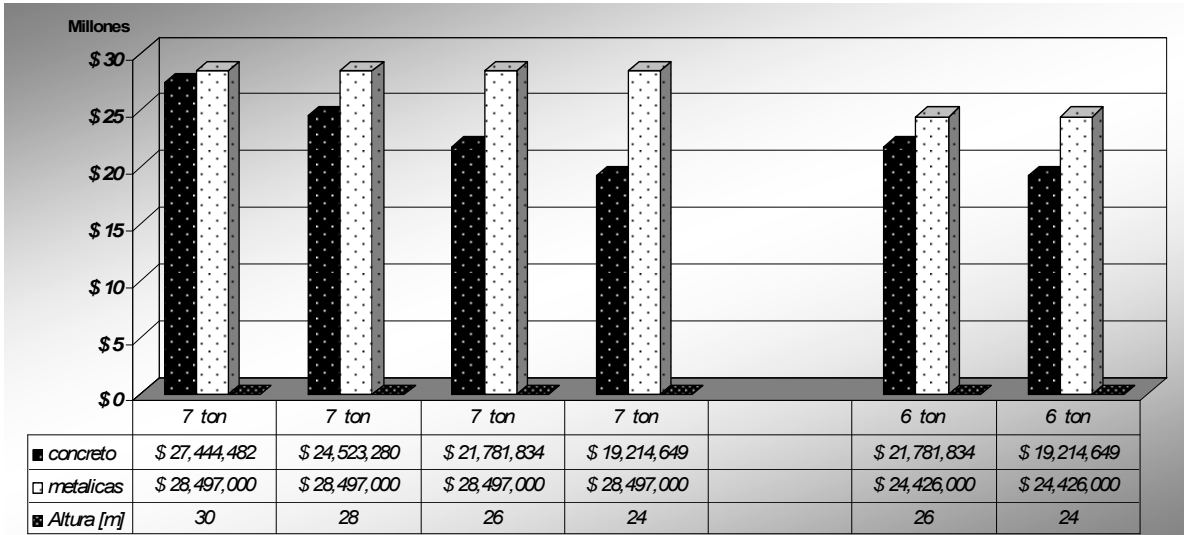
Tabla 6.23. Resultados obtenidos para la estructura doble circuito tipo suspensión con cruceta de 3,7 m de longitud a 115 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
2	30	7 ton	5.08	\$ 27,444,482.18	\$ 28,497,000.00	\$ 1,052,517.82	3.84%
	28	7 ton	4.54	\$ 24,523,279.79	\$ 28,497,000.00	\$ 3,973,720.21	16.20%
	26	7 ton	4.03	\$ 21,781,834.31	\$ 28,497,000.00	\$ 6,715,165.69	30.83%
	24	7 ton	3.56	\$ 19,214,649.20	\$ 28,497,000.00	\$ 9,282,350.80	48.31%
	22	5 ton	3.11	\$ 16,816,227.93	\$ 20,355,000.00	\$ 3,538,772.07	21.04%

Tabla 6.24. Resultados obtenidos para la estructura triangular tipo suspensión con cruceta de 3,7 m de longitud a 115 kV

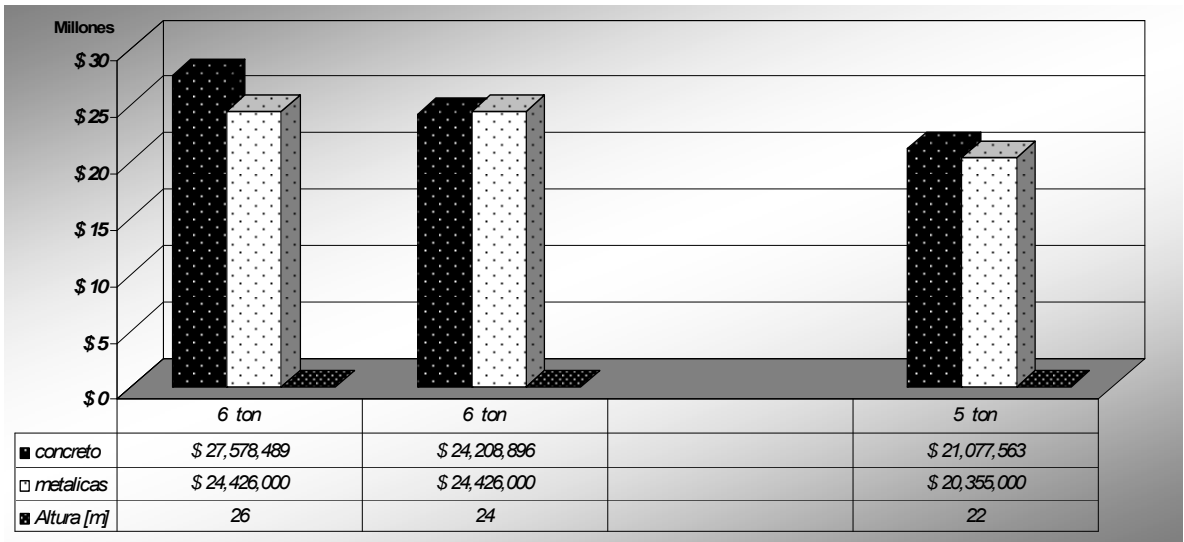
NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (M)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (M <sup>3</sup> )	COSTO CONCRETO	COSTO METALICA	DIFERENCIA	GANANCIA %
2	30	5 ton	5,08	\$ 27.444.482	\$ 20.355.000	-\$ 7.089.482	-25,83%
	28	5 ton	4,54	\$ 24.523.280	\$ 20.355.000	-\$ 4.168.280	-17,00%
	26	5 ton	4,03	\$ 21.781.834	\$ 20.355.000	-\$ 1.426.834	-6,55%
	24	5 ton	3,56	\$ 19.214.649	\$ 20.355.000	\$ 1.140.351	5,93%
	22	5 ton	3,11	\$ 16.816.228	\$ 20.355.000	\$ 3.538.772	21,04%
	20	5 ton	2,70	\$ 14.581.074	\$ 20.355.000	\$ 5.773.926	39,60%
	18	5 ton	2,32	\$ 12.503.691	\$ 20.355.000	\$ 7.851.309	62,79%

Figura 6.8. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. metálicas compuestas por dos (2) postes, estructura de 115 kV tipo suspensión



Al analizar las figuras 6.8 y 6.9 se observa el comportamiento de los precios de las estructuras en concreto para distinta cantidad de postes que las conforman. Si se toman las dos graficas y las barras de precio de las estructuras de 6 toneladas de carga en la punta, se nota que es más rentable la estructura de dos postes.

Figura 6.9. Comportamiento del precio de las estructuras de concreto vs. metálicas compuestas por tres (3) postes, estructura de 115 kV tipo suspensión



En resumen, el comportamiento de estos resultados es muy similar al observado para la tensión eléctrica de 230 kV, y se demuestra una vez mas, que el precio de

las estructuras metálicas es proporcional a la capacidad de carga en la punta y las estructuras de concreto proporcional a su altura.

## 6.8 RESULTADOS ESTRUCTURAS DE 34,5 kV TIPO TRIANGULAR Y VERTICAL

Para la tensión eléctrica de 34,5 kV, no se analiza el comportamiento de los costos entre las estructuras diseñadas de concreto y las estructuras metálicas, ya que en la actualidad solo se usan estructuras de concreto para esta tensión y también se justifica porque la zona de cimentación y servidumbre es menor y es mas sencillo su montaje.

Tabla 6.25. Resultados obtenidos para la estructura Triangular y Vertical tipo Suspensión con cruceta de 2 m de longitud a 34,5 kV

NÚMERO POSTES	ALTURA TOTAL (m)	CARGA ROTURA	VOLUMEN POSTE (m <sup>3</sup> )	COSTO_CONCRETO
2 POSTES	24	3 ton	3.36	\$ 18,167,891
	22	3 ton	2.94	\$ 15,874,894
	20	3 ton	2.54	\$ 13,741,856
	18	3 ton	2.18	\$ 11,763,281
	16	3 ton	1.84	\$ 9,933,673
	14	3 ton	1.53	\$ 8,247,533
	12	3 ton	1.24	\$ 6,699,367

Tabla 6.26. Resultados obtenidos para la estructura Triangular y Vertical tipo Terminal con cruceta de 2 m de longitud a 34,5 kV

NÚMERO POSTES	H TOTAL (m)	P. PUNTA	V_TOTAL POSTE (m <sup>3</sup> )	COSTO_CONCRETO
2 POSTES	24	9 ton	3.36	\$ 27,251,836
	22	9 ton	2.94	\$ 23,812,341
	20	9 ton	2.54	\$ 20,612,785
	18	9 ton	2.18	\$ 17,644,922
	16	9 ton	1.84	\$ 14,900,509
	14	9 ton	1.53	\$ 12,371,300
	12	9 ton	1.24	\$ 10,049,051

Tabla 6.27. Resultados obtenidos para la estructura Triangular y Vertical tipo Retención con cruceta de 2 m de longitud a 34,5 kV

NÚMERO POSTES	H TOTAL (m)	P. PUNTA	V_TOTAL POSTE (m <sup>3</sup> )	COSTO_CONCRETO
3 POSTES	24	14 ton	3.17	\$ 25,714,144
	22	14 ton	2.77	\$ 22,430,081
	20	14 ton	2.39	\$ 19,380,996
	18	14 ton	2.04	\$ 16,558,642
	16	14 ton	1.72	\$ 13,954,775
	14	14 ton	1.43	\$ 11,561,150
2 POSTES	12	14 ton	1.16	\$ 9,369,523
	24	5 ton	3.36	\$ 18,167,891
	22	5 ton	2.94	\$ 15,874,894
	20	5 ton	2.54	\$ 13,741,856
	18	5 ton	2.18	\$ 11,763,281
	16	5 ton	1.84	\$ 9,933,673
	14	5 ton	1.53	\$ 8,247,533
	12	5 ton	1.24	\$ 6,699,367

Solo se muestra para esta tensión los precios de las estructuras, es para que las empresas interesadas en el producto puedan acceder a ellas al momento de planificar y cotizar los proyectos en los que se requieran dichas estructuras.

## 6.9 COSTOS DE TRANSPORTE Y MONTAJE

Tabla 6.28. Precio de transporte de estructuras metálicas y de concreto

TIPO DE ESTRUCTURA	TENSIÓN [KV]	PRECIO TRANSPORTE	COSTO FLETE	ESTRUCTURA POR VIAJE	COSTO POR ESTRUCTURA	PRECIO TOTAL
METALICA	230	\$ 1 800 000	0	3	\$ 600 000	\$ 600 000
	115	\$ 1 800 000	0	4,5	\$ 400 000	\$ 400 000
CONCRETO	230	\$ 1 800 000	\$ 1 800 000	0,33333	\$ 5 400 000	\$ 7 200 000
	115	\$ 1 800 000	0	1	\$ 1 800 000	\$ 1 800 000

El precio de transporte es el mismo para cualquier región del país, lo importante es la capacidad de carga y la cantidad de estructuras transportadas. Si se analiza la tabla anterior se puede observar un costo por flete, esto se debe a que cuando se transporta carga larga (mas de 14 m de longitud) se tiene que pagar un flete o acompañante al lado delantero y trasero del transporte de las estructuras como forma de aviso o precaución para los vehículos que se aproximen, este costo se tendrá en cuenta al transportar estructuras de 230 kV, ya que la longitud de las dos secciones del poste será mayor de 15 m. como se describió en el capítulo 4, los postes que conforma cada estructura esta dividido en dos secciones para facilitar su transporte y montaje.

En la columna 5 de la tabla 6.28 se puede observar la cantidad de estructuras transportadas, se nota que la cantidad de estructuras transportadas de concreto es menor que las estructuras metálicas y esto es consecuencia del gran volumen. Al mirar la columna de precio total, resalta el gran costo que tiene al transporte de las estructuras de concreto para 230 kV.

Tabla 6.29. Precio de montaje de estructura metálicas utilizadas para la tensión eléctrica de 230 kV

<b>ESTRUCTURAS METALICAS DE 230 kV</b>					
<b>Personal</b>	<b>Horas de trabajo</b>	<b>Cantidad de personal</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Días</b>	<b>Valor total personal</b>
Liniero	N/A	19	\$ 108,468.00	4	\$ 8,243,568
Ayudante	N/A	20	\$ 76,169.00	4	\$ 6,093,520
Liniero	N/A	9	\$ 108,468.00	1	\$ 976,212
Ayudante	N/A	7	\$ 76,169.00	1	\$ 533,183
<b>COSTO POR DIAS DE TRABAJO</b>					\$ 15,846,483
Liniero	4	19	\$ 12,098.00	1	\$ 919,448
Ayudante	4	20	\$ 6,153.00	1	\$ 492,240
Liniero	9	19	\$ 12,098.00	1	\$ 2,068,758
Ayudante	9	20	\$ 6,153.00	1	\$ 1,107,540
Liniero	3.5	19	\$ 12,098.00	1	\$ 804,517
Ayudante	3.5	20	\$ 6,153.00	1	\$ 430,710
Liniero	2.5	19	\$ 12,098.00	1	\$ 574,655
Ayudante	2.5	20	\$ 6,153.00	1	\$ 307,650
Liniero	1	1	\$ 12,098.00	1	\$ 12,098
Ayudante	1	1	\$ 6,153.00	1	\$ 6,153
<b>COSTO POR HORAS TRABAJADAS</b>					\$ 6,723,769
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 22,570,252</b>
<b>ADMINISTRACION</b>					\$ 2,257,025
					\$ 24,827,277
<b>IVA</b>					\$ 3,972,364
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 28,799,642</b>

Los costos en el montaje de las estructuras varían de acuerdo a la cantidad de días que se invierten y el número de personas empleadas para dicho propósito. El costo más elevado que se presenta en el montaje de las estructuras de concreto es el alquiler de la grúa la cual esta capacitada para montar una (1) estructura de concreto de 230 kV diaria y dos (2) de 115 Kv diaria. Por el lado de las estructuras metálicas, el precio de montaje es costoso debido al número de linieros y ayudantes que se necesitan y la cantidad de días que se tardan en montar la estructura.

Tabla 6.30. Precio de montaje de estructura metálicas utilizadas para la tensión eléctrica de 115 Kv

<b>ESTRUCTURAS METALICAS DE 115 kv</b>					
<b>Personal</b>	<b>Horas de trabajo</b>	<b>Cantidad de personal</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Días</b>	<b>Valor total personal</b>
Liniero	N/A	19	\$ 108,468.00	3	\$ 6,182,676
Ayudante	N/A	20	\$ 76,169.00	3	\$ 4,570,140
°Liniero	N/A	9	\$ 108,468.00	1	\$ 976,212
Ayudante	N/A	7	\$ 76,169.00	1	\$ 533,183
<b>COSTO POR DIAS DE TRABAJO</b>					<b>\$ 12,262,211</b>
Liniero	10.5	19	\$ 12,098.00	1	\$ 2,413,551
Ayudante	10.5	20	\$ 6,153.00	1	\$ 1,292,130
Liniero	8	19	\$ 12,098.00	1	\$ 1,838,896
Ayudante	8	20	\$ 6,153.00	1	\$ 984,480
Liniero	3.5	19	\$ 12,098.00	1	\$ 804,517
Ayudante	3.5	20	\$ 6,153.00	1	\$ 430,710
<b>COSTO POR HORAS TRABAJADAS</b>					<b>\$ 7,764,284</b>
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 20,026,495</b>
<b>ADMINISTRACION</b>					<b>\$ 2,002,650</b>
					<b>\$ 22,029,145</b>
<b>IVA</b>					<b>\$ 3,524,663</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 25,553,808</b>

Tabla 6.31. Precio de montaje de estructura de concreto

<b>ESTRUCTURAS DE CONCRETO</b>				
<b>Servicio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor DIA</b>	<b>Días</b>	<b>Valor Total</b>
Alquiler de la grúa	1	\$ 7.000.000	1	\$ 7.000.000
Ingeniero	1	\$ 120.000	1	\$ 120.000
Tipógrafo	1	\$ 70.000	1	\$ 70.000
Oficiales	2	\$ 70.000	1	\$ 140.000
Ayudantes	5	\$ 50.000	1	\$ 250.000
				<b>\$ 7.580.000</b>
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 7.580.000</b>
<b>ADMINISTRACION</b>				<b>\$ 758.000</b>
				<b>\$ 8.338.000</b>
<b>IVA</b>				<b>\$ 1.334.080</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 9.662.080</b>

A continuación, se observa el comportamiento de los precios de transporte y montaje simultáneamente, para el caso particular del uso de 10 estructuras en el diseño de una línea de transmisión de energía eléctrica.

En las siguientes Tablas se muestra la rentabilidad en el uso de las estructuras de concreto diseñadas, la disminución en los costos de transporte y montaje en el uso

de las estructuras de concreto es favorable, ya que en este estudio de precios de las estructuras se demuestra su rentabilidad.

Tabla 6.32. Precio del montaje de 10 estructuras metálicas y 10 de concreto para las tensiones de 115 y 230 kV

Tipo	Tensión [KV]	Cantidad	Días	Valor Total
METALICA	230	10	50	\$287.996.416
	115	10	40	\$255.538.076
CONCRETO	230	10	10	\$ 96.620.800
	115	10	5	\$ 55.761.200

Tabla 6.33. Precio del Transporte de 10 estructuras metálicas y 10 de concreto para las tensiones de 115 y 230 kV

Tipo	Tensión [KV]	Cantidad	Total ejemplo
METALICA	230	10	\$ 6.000.000
	115	10	\$ 4.000.000
CONCRETO	230	10	\$ 72.000.000
	115	10	\$ 18.000.000

Tabla 6.34. Precio del montaje y transporte de 10 estructuras metálicas y 10 de concreto para las tensiones de 115 y 230 kV

Tipo	Tensión [KV]	Costo Transporte y Montaje
METALICA	230	\$ 293.996.416
	115	\$ 259.538.076
CONCRETO	230	\$ 168.620.080
	115	\$ 73.761.200

La viabilidad y rentabilidad que ofrece el uso de las estructuras diseñadas de concreto es muy bueno, y da una satisfacción grande el saber, que el desarrollo de este proyecto de grado de estructuras para líneas de transmisión de energía eléctrica es importante ya que proveerá a los futuros diseños una reducción en los costos, confiabilidad y esbeltez cumpliendo con los requisitos eléctricos y mecánicos que se exijan.

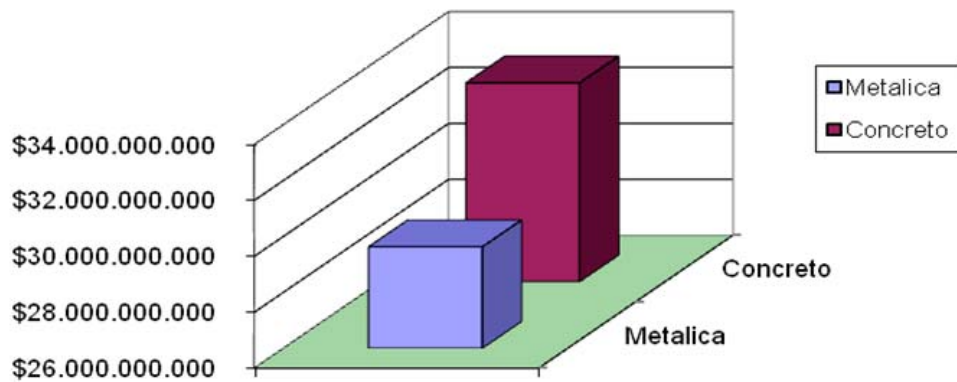
La gama de estructuras diseñadas es muy amplia, ya depende del ingeniero constructor escoger cual se acomoda mejor a su diseño y cual le brinda mayor economía.

## 6.10 EJEMPLO

A continuación se dará un ejemplo de cómo se puede emplear las estructuras diseñadas, para lograr economía sin dejar a un lado las exigencias mecánicas y eléctricas impuestas por el ente constructor de una línea de transmisión de energía eléctrica. Este caso particular se hará una maniobra en el diseño de una línea de 230 kV con estructuras tipo suspensión.

Se tomara como referencia para las estructuras a utilizar, una longitud de línea de 100 km, altura de 34 m, de 6 ton de carga en la punta y de tipo suspensión. Al observar la grafica 6.10, se resalta que el sistema grafico comparativo entre los costos de estructuras metálicas y de concreto es desfavorable para esta última, lo que indica una viabilidad en el uso de las estructuras metálicas.

Figura 6.10 Comparación entre estructura de concreto y metálica de las mismas características.



Ahora si se calcula los precios de la línea con las mismas características anteriores pero cambiando la altura de la estructura, tomando estructuras mas altas y mas bajas ¿que sucedería?. La respuesta que se tomaría sin desarrollar esta idea seria errónea, para no caer en esto, se hará el calculo de precios tanto para transporte y montaje como también para cadenas de aisladores, ¿por qué se incluye la cadena de aisladores?. Si se tomara una estructura mas alta de 34 m implicaría que la longitud entre vanos va hacer mayor ósea se necesitan menos estructuras para el montaje de la línea pero si se utilizan estructuras mas bajas se utilizarían mas debido a su corto vano.

Tabla 6.35. Características de la estructura analizada

ALTURA ESTRUCTURA [m]	LONGITUD LÍNEA [m]	CANTIDAD CALCULADA	NO. ESTRUCTURA UTILIZADA	VOLUMEN POSTE [m3]
38	100000	384,62	385	6,91
36	100000	434,78	435	6,27
34	100000	526,32	527	5,67
32	100000	666,67	667	5,08
30	100000	1111,11	1112	4,58

Tabla 6.36. Precio cadena de aisladores y estructura

PRECIO CADENA AISLADOR	TOTAL CADENA AISLADORES	PRECIO EST. CONCRETO	PRECIO EST. METÁLICA	PRECIO TOTAL EST. CONCRETO	PRECIO TOTAL EST. METÁLICA
\$ 800.000	\$ 924.000.000	\$ 55.971.000	\$ 24.426.000	\$ 21.548.835.000	\$ 12.872.502.000
\$ 800.000	\$ 1.044.000.000	\$ 50.787.000		\$ 22.092.345.000	
\$ 800.000	\$ 1.264.800.000	\$ 45.927.000		\$ 24.203.529.000	
\$ 800.000	\$ 1.600.800.000	\$ 41.148.000		\$ 27.445.716.000	
\$ 800.000	\$ 2.668.800.000	\$ 37.098.000		\$ 41.252.976.000	

Tabla 6.37. Precio de transporte de las estructuras

TRANSPORTE EST. CONCRETO	TRANSPORTE EST. METÁLICA	TOTAL TRANSPORTE EST. CONCRETO	TOTA TRANSPORTE EST. METÁLICA
\$ 7.200.054	\$ 600.000	\$ 2.772.020.790	\$ 316.200.000
\$ 7.200.054		\$ 3.132.023.490	
\$ 7.200.054		\$ 3.794.428.458	
\$ 7.200.054		\$ 4.802.436.018	
\$ 7.200.054		\$ 8.006.460.049	

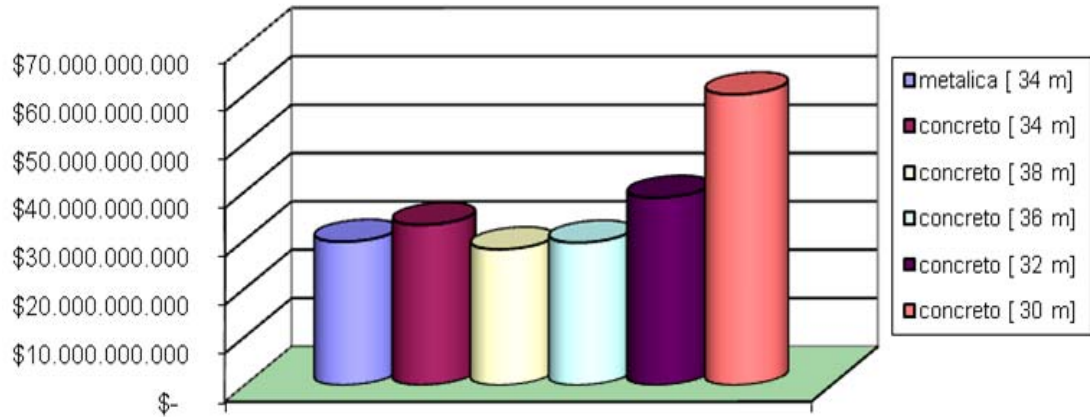
Tabla 6.38. Precio de Montaje de las estructuras

PRECIO MONTAJE EST. CONCRETO	PRECIO MONTAJE EST. METALICA	TOTAL MONTAJE EST. CONCRETO	TOTAL MONTAJE EST. METALICA
\$ 7.662.080	\$ 28.799.642	\$ 2.814.350.000	\$ 15.177.411
\$ 7.662.080		\$ 3.179.850.000	
\$ 7.662.080		\$ 3.852.370.000	
\$ 7.662.080		\$ 4.875.770.000	
\$ 7.662.080		\$ 8.128.720.000	

Tabla 6.39. Precio total de construcción de la línea

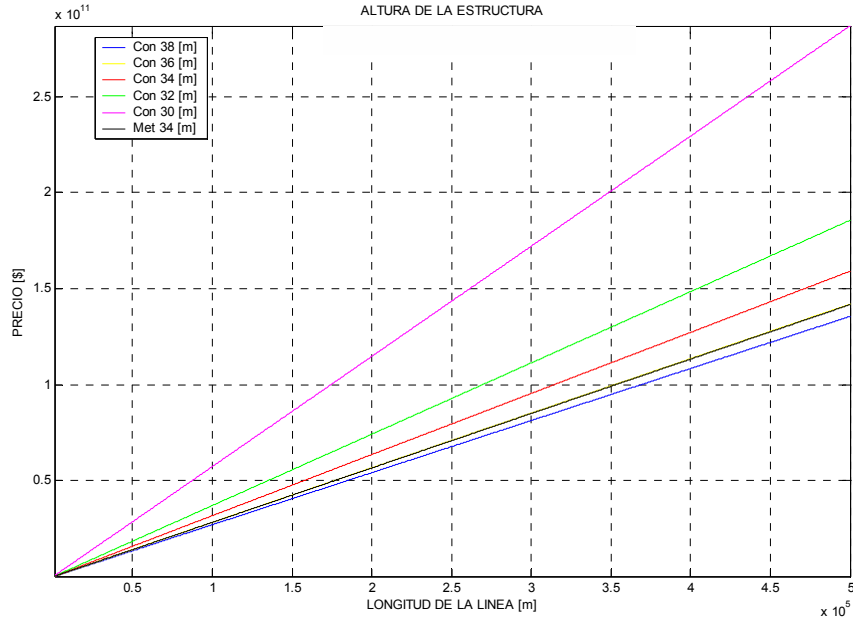
TOTAL LÍNEA CONCRETO	TOTAL LÍNEA METÁLICA
\$ 28.194.756.590	\$ 29.630.913.098
\$ 29.601.373.290	
\$ 33.300.673.618	
\$ 38.959.559.378	
\$ 60.448.469.009	

Figura 6.11 Diagrama comparativo de precios



La grafica anterior es clara porque muestra que este diseño de línea puede emplear estructuras un poco más altas, que garantizan economía. Este ejemplo emplea estructuras mas altas pero cumpliendo con las mismos requisitos eléctricos y mecánicos.

Figura 6.12 Grafica del comportamiento de precios para distinta altura de estructura



## **6.11 BENEFICIOS**

Los beneficios radican principalmente en la gran cobertura que tendrá PRETECOR en el mercado nacional e internacional, debido a que el análisis realizado se muestra un alto grado de rentabilidad y economía a la hora de diseñar sistemas de transmisión usando las estructuras diseñadas en este trabajo de grado.

Debido al gran impacto que dará el uso de estas estructuras de concreto, la empresa a un futuro contara con todo el capital y la infraestructura para generar mas empleo, ayudando con una parte al desarrollo de este país, algo que se ha venido recalando desde hace varios años a todas las empresas privadas y del estado.

Otro beneficio ya antes mencionado, es que las empresas diseñadoras de líneas de transmisión de energía eléctrica, economizaran los gastos para realizar dichos proyectos cosa que durante años vienen trabajando para optimizar sus diseños y mirar la mejor propuesta para economizar costos y mejorar la rentabilidad.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La carga que experimenta una estructura durante su montaje es crítica, sin embargo resultaría en un costo muy elevado si estas cargas se tuvieran en cuenta en los diseños considerando que dichas cargas sólo las experimenta la estructura una vez en su vida útil, por ello es recomendable el estudio y uso de templates temporales para contrarrestar las cargas aplicadas y determinar el tipo montaje más conveniente.

Las estructuras obtenidas han sido diseñadas con el fin de satisfacer las normas eléctricas y civiles conocidas y la capacidad de producción de Pretecor Ltda., aplicando criterios en donde se somete la estructura a condiciones y simulaciones extremas, tales como la presencia de vientos máximos y temperaturas mínimas simultáneamente, así como la simulación de atentados cerca a las cimentaciones de las estructuras y las condiciones anormales que plantea el RETIE con datos según la NSR-98.

Todos los criterios de diseño han sido basados en experiencias vividas por ingenieros y empresas dedicadas al campo de las líneas eléctricas, quienes dieron parte de ello y de su conocimiento para la orientación y ejecución del proyecto.

La gran cobertura que tendrá PRETECOR en el mercado nacional e internacional será significativa, debido a que el análisis económico realizado muestra un alto grado de rentabilidad y economía al momento de construir sistemas de transmisión usando las estructuras diseñadas, y logrando con ello, reducción de costos para las empresas constructoras y un incremento en el capital de PRETECOR.

La rentabilidad al momento de utilizar las estructuras de concreto no solo radica en su bajo costo de construcción y montaje, sino también en la capacidad de carga de rotura en su base, esto es muy importante, ya que la probabilidad de que una estructura de concreto se caiga es mínima, y porque incrementa el grado de confiabilidad que se le entregara tanto a las empresas transportadoras de energía como al usuario, quien es el mas beneficiado en todo este estudio.

El diseño de la estructura hace que su uso sea práctico y útil, debido a que el área de encerramiento que emplea esta estructura es menor en comparación con las metálicas y pueden ser utilizadas en zonas urbanas donde exista poco espacio para su montaje o en tendidos de líneas de transmisión de energía eléctrica sobre

el separador de vía vehicular. El uso de estructuras de concreto tiene una limitante, porque solo se pueden instalar en zonas de acceso a la grúa de montaje.

Económicamente el uso de las estructuras de concreto ofrece mayor rentabilidad que las estructuras metálicas, sin embargo las estructuras metálicas con respecto a las de concreto con características similares de menor carga de rotura en la punta son mas económicas, pero esto se puede corregir si se escogen estructuras de concreto mas altas, ya que el ahorro se ve reflejado en la menor cantidad de estructuras empleadas en el trazado de la línea, menor costo de montaje, transporte y menor cantidad de cadena de aisladores.

Para posteriores estudios y modificaciones acerca del contenido de este trabajo de grado, se resaltaría la posibilidad por parte de pretecor la implementación y construcción de estas estructuras en una sola es decir, que la estructura no este conformada por dos o tres postes sino por una solo, pero esto depende de la capacidad y capital actual de la empresa para realizar esto.

## BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, J. G. Transmission line reference book 34,5 kv and above. second edition, electric power research institute. 1982, cap 12 lightning performance of transmission lines.

GÓMEZ RICO, Carlos M., Líneas eléctricas cálculo mecánico. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Noviembre de 1983.

LEÓN GARCÍA, Jairo. Criterios básicos para el diseño de líneas de transmisión de alto voltaje. Universidad Industrial de Santander. Marzo de 1983.

STEVENSON Jr., William D. Análisis de Sistemas de Potencia. Mc graw Hill, primera edición. 1996.

VILA CASADO, Raúl Omar. Descargas atmosféricas en una línea de transmisión, un modelo electrostático, un modelo electrogeométrico. Facultad de ciencias físico mecánicas, departamento de electricidad y electrónica. Universidad Industrial de Santander. Departamento de Electricidad y Electrónica. 1993.

ZOPPETTI JÚDEZ, Gaudencio. Redes eléctricas de alta y baja tensión, para conducir y distribuir la energía eléctrica. Editorial Gustavo Gili S.A. Quinta edición. Barcelona, 1989.

DE LUCA, Enrique L., Hormigón Pretensado. El Ateneo, primera edición. 1979.

KHACHATURIAN, N. y GURFINKEL, G., Concreto Presforzado. Diana, primera edición. 1981.

GUIA PARA LA PRESENTACION DE TRABAJOS DE GRADO. Universidad de San Buenaventura, facultad de administración de negocios, Santiago de Cali. 2003.

ESSA. Norma para cálculo y diseño de sistemas de distribución. Capítulo 1 DEFINICIONES, capítulo 5 LINEAS Y REDES. Última revisión, comité de normas. 2004–2005

AIS, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, NSR -98. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. 1998.

INSTITUTO AMERICANO DEL CONCRETO, ACI-318-02. Hormigón Pretensado–flexion.

NTC 1329. Prefabricados en concreto. Postes de concreto armado para líneas aéreas de energía y telecomunicaciones. 3ra. actualización Año 2000. Editado por el instituto colombiano normas técnicas y certificación (Icontec).

PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE, Guide for the Desing of Prestressed Concrete Poles, pci Journal. Vol 42, No 6.

RETIE. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Capitulo IV requisitos específicos para el proceso de transmisión. Resolución N° 18 0394. 2004

<http://www.centelsa.com.co/userfiles/catalogos/TODOALUMINIODESNUDO.pdf>

[http://www.eucomsa.es/pdf/cat\\_abreviado.pdf](http://www.eucomsa.es/pdf/cat_abreviado.pdf)

FACULTAD DE INGENIERÍA. Diseño de líneas de Transmisión y Estaciones Transformadoras. Universidad Nacional de La Plata Argentina, 1991–1992.

<http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/le-index.htm>

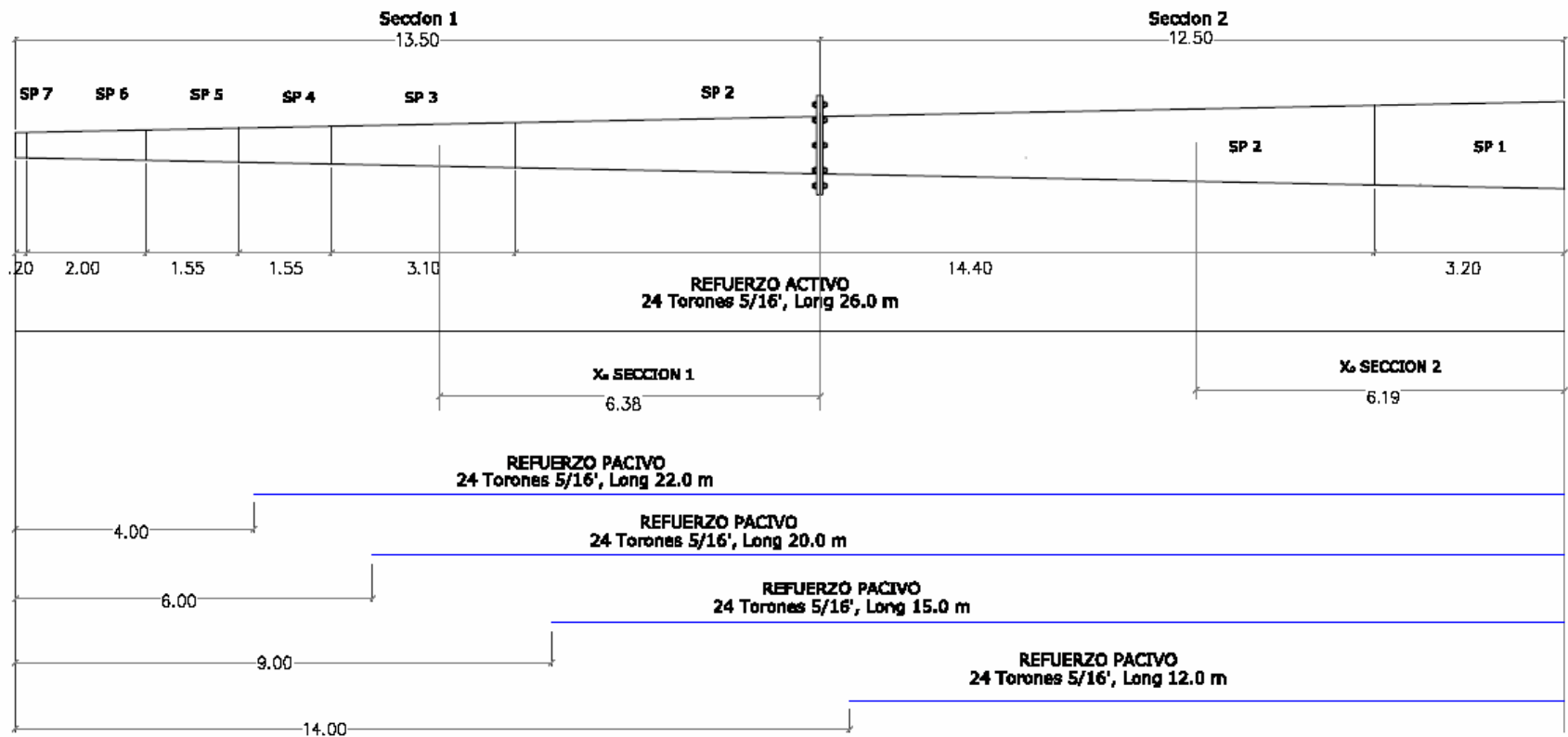
[http://www.saintgobainlagranja.es/catalogo\\_aisladores.asp](http://www.saintgobainlagranja.es/catalogo_aisladores.asp)

[https://www.superservicios.gov.co/basedoc/docs/resoluciones/r\\_creg\\_0025\\_1995.html#1](https://www.superservicios.gov.co/basedoc/docs/resoluciones/r_creg_0025_1995.html#1)

<http://www.pretecor.com.htm>

# ANEXOS

**ANEXO 1.**  
**REFUERZO POSTE CÁLCULO TIPO**



**ANEXO 2.**  
**DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA**  
**ESTRUCTURA CÁLCULO TIPO**

## PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports

## \*\*\* PROJECT INFORMATION

Project Name :  
Date : 2007/6/13

## \*\*\* CONTROL DATA

Panel Zone Effect : Do not Calculate  
Unit System : KGF, M  
Definition of Frame  
- X Direction of Frame : Unbraced I Sway  
- Y Direction of Frame : Unbraced I Sway  
- Design Type : 3-D  
Design Code  
- Steel : AISC-LRFD2K  
- Concrete : ACI318-02  
- SRC : SSRC79

## \*\*\* LOAD CASE DATA

NO	NAME	TYPE	SELF WEIGHT FACTOR			DESCRIPTION
			X	Y	Z	
1	E_CEX	L	0.000	0.000	0.000	Extrema conduct sason
2	E_FALL1	L	0.000	0.000	0.000	CG+CC rotos
3	E_FALL2	L	0.000	0.000	0.000	CC+CC rotos
8	E_FALL2-2	L	0.000	0.000	0.000	CC+CC rotos 2
7	E_Cdiaria	L	0.000	0.000	0.000	condicion Diaria
4	Viento	W	0.000	0.000	0.000	subre postes
5	sismo	E	0.000	0.000	0.000	subre estructura
6	peso propio	D	0.000	0.000	-1.000	estructura

## \*\*\* MATERIAL PROPERTY DATA

NO	NAME	TYPE	MODULUS OF ELASTICITY	SHEAR MODULUS	THERMAL COEFF.	POISSON RATIO	WEIGHT DENSITY
1	C450	CONC	2.92e+009	1.251e+009	5.556e-006	0.167	2400

NO	NAME	TYPE	STRENGTH OF DESIGN MATERIAL			
			STEEL	CONCRETE	MAIN REBAR	SUB REBAR
1	C450	CONC	-	4.5e+006	4.2e+007	4.2e+007

## \*\*\* STORY DATA


Ground Level = 2.4

NAME	LEVEL	HEIGHT	FLOOR DIAPHRAGM
Roof	18.000	0.000	Consider
6F	17.800	0.200	Consider
5F	15.800	2.000	Consider
4F	14.250	1.550	Consider
3F	12.700	1.550	Consider
2F	9.600	3.100	Consider
1F	2.400	7.200	Consider
B1	0.000	2.400	Do not consider

## \*\*\* NODE DATA

NO	X	Y	Z	TEMPERATURE
17	3	0	17.8	0
18	3.2	0	15.8	0
19	3.2	0	12.7	0
20	-3.2	0	12.7	0
21	-3	0	17.8	0

PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports

22	0	-0.84	0	0
23	0	-0.77	2.4	0
24	0	-0.55	9.6	0
25	0	-0.46	12.7	0
26	0	-0.41	14.25	0
27	0	-0.37	15.8	0
28	0	-0.31	17.8	0
29	0	-0.3	18	0
30	0.7275	0.42	0	0
31	0.6668	0.385	2.4	0
32	0.4763	0.275	9.6	0
33	0.3984	0.23	12.7	0
34	0.3551	0.205	14.25	0
35	0.3204	0.185	15.8	0
36	0.2685	0.155	17.8	0
37	0.2598	0.15	18	0
38	-0.7275	0.42	0	0
39	-0.6668	0.385	2.4	0
40	-0.4763	0.275	9.6	0
41	-0.3984	0.23	12.7	0
42	-0.3551	0.205	14.25	0
43	-0.3204	0.185	15.8	0
44	-0.2685	0.155	17.8	0
45	-0.2598	0.15	18	0

\*\*\* SUPPORT / SPECIFIED DISPLACEMENT / POINT SPRING SUPPORT

\*\* SUPPORT / SPECIFIED DISPLACEMENT

NODE	SUPPORT DDRRR	SPECIFIED DISPLACEMENT					
		D-Wc1	D-Wc2	D-Wc3	R-Wc1	R-Wc2	R-Wc3
22	111111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	111111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	111111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	111111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
38	111111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
39	111111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000


\*\*\* FLOOR DIAPHRAGM / RIGID LINK DATA

MASTER	DDRRR	NODES OF SAME DISPLACEMENT
Roof Floor Diaphragm	29 37 45	
6F Floor Diaphragm	17 21 28 36 44	
5F Floor Diaphragm	18 27 35 43	
4F Floor Diaphragm	26 34 42	
3F Floor Diaphragm	19 20 25 33 41	
2F Floor Diaphragm	24 32 40	
1F Floor Diaphragm	23 31 39	

\*\*\* SECTION PROPERTY DATA

NO	NAME	SHAPE	H	B	tw	tf1	r1	STIFFNESS SCALE FACTOR					
								A	Asy	Asz	Ix	Iy	Iz
1	SP1	P	0.658	0.101	0	0	0						
2	SP2	P	0.622	0.0972	0	0	0						
			0.514	0.0864	0	0	0						
3	SP3	P	0.514	0.0864	0	0	0						
			0.467	0.0817	0	0	0						
4	SP4	P	0.467	0.0817	0	0	0						
			0.444	0.0794	0	0	0						
5	SP5	P	0.444	0.0794	0	0	0						
			0.421	0.0771	0	0	0						
6	SP6	P	0.421	0.0771	0	0	0						
			0.39	0.0741	0	0	0						
7	SP7	P	0.39	0.0741	0	0	0						
			0.388	0.0737	0	0	0						

PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports

8	c	CG	SB	0.4	0.15	0	0	0
9	c	CC	SB	0.4	0.15	0	0	0
10	Anillos	CC	SB	0.55	0.2	0	0	0
11	Anillos	OG	SB	0.5	0.2	0	0	0
13	Anillos	CC-	SB	0.65	0.3	0	0	0

NO	NAME	AREA [SRC:EQIV.]	MOMENT OF INERTIA			SHAPE FACTOR		
			Ix	Iy	Iz	k-Y	k-Z	
1	SP1	0.1763	0.01411	0.007056	0.007056	0.5	0.5	
		0.1601	0.01139	0.005693	0.005693	0.5	0.5	
2	SP2	0.1601	0.01139	0.005693	0.005693	0.5	0.5	
		0.1159	0.005504	0.002752	0.002752	0.5	0.5	
3	SP3	0.1159	0.005504	0.002752	0.002752	0.5	0.5	
		0.0989	0.003837	0.001918	0.001918	0.5	0.5	
4	SP4	0.0989	0.003837	0.001918	0.001918	0.5	0.5	
		0.09087	0.00316	0.00158	0.00158	0.5	0.5	
5	SP5	0.09087	0.00316	0.00158	0.00158	0.5	0.5	
		0.08314	0.002575	0.001288	0.001288	0.5	0.5	
6	SP6	0.08314	0.002575	0.001288	0.001288	0.5	0.5	
		0.07362	0.001944	0.000972	0.000972	0.5	0.5	
7	SP7	0.07362	0.001944	0.000972	0.000972	0.5	0.5	
		0.07269	0.001888	0.0009439	0.0009439	0.5	0.5	
8	c	CG	0.06	0.0003439	0.0008	0.0001125	0.8333	0.8333
9	c	CC	0.06	0.0003439	0.0008	0.0001125	0.8333	0.8333
10	Anillos	CC	0.11	0.001131	0.002773	0.0003667	0.8333	0.8333
11	Anillos	OG	0.1	0.0009981	0.002083	0.0003333	0.8333	0.8333
13	Anillos	CC-	0.195	0.004155	0.006866	0.001463	0.8333	0.8333

NO	NAME	SECTION MODULUS Iy		SECTION MODULUS Iz		
		I or CONC.	J or STEEL	I or CONC.	J or STEEL	
1	SP1	0.03159	0.02703	0.03159	0.02703	
2	SP2	0.02703	0.01598	0.02703	0.01598	
3	SP3	0.01598	0.01231	0.01598	0.01231	
4	SP4	0.01231	0.01071	0.01231	0.01071	
5	SP5	0.01071	0.009242	0.01071	0.009242	
6	SP6	0.009242	0.007551	0.009242	0.007551	
7	SP7	0.007551	0.007394	0.007551	0.007394	
8	c	CG	0.006	0.006	0.00225	0.00225
9	c	CC	0.006	0.006	0.00225	0.00225
10	Anillos	CC	0.01513	0.01513	0.0055	0.0055
11	Anillos	OG	0.0125	0.0125	0.005	0.005
13	Anillos	CC-	0.03169	0.03169	0.01462	0.01462

\*\*\* BEAM MEMBER DATA

NO	NODAL	CONNECTIVITY		BEAM END RELEASE		MATERIAL	SECTION	LENGTH
		I	J	I	J			
1	22	23	-	-	C450	SP1	2.401	
2	23	24	-	-	C450	SP2	7.203	
3	24	25	-	-	C450	SP3	3.101	
4	25	26	-	-	C450	SP4	1.551	
5	26	27	-	-	C450	SP5	1.551	
6	27	28	-	-	C450	SP6	2.001	
7	28	29	-	-	C450	SP7	0.2002	
8	30	31	-	-	C450	SP1	2.401	
9	31	32	-	-	C450	SP2	7.203	
10	32	33	-	-	C450	SP3	3.101	
11	33	34	-	-	C450	SP4	1.551	
12	34	35	-	-	C450	SP5	1.551	
13	35	36	-	-	C450	SP6	2.001	
14	36	37	-	-	C450	SP7	0.2002	
15	38	39	-	-	C450	SP1	2.401	
16	39	40	-	-	C450	SP2	7.203	
17	40	41	-	-	C450	SP3	3.101	
18	41	42	-	-	C450	SP4	1.551	
19	42	43	-	-	C450	SP5	1.551	
20	43	44	-	-	C450	SP6	2.001	

PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports

21	44	45	-	-	C450	SP7	0.2002
22	25	19	-	-	C450	c CC	3.233
23	33	19	-	-	C450	c CC	2.811
24	27	18	-	-	C450	c CC	3.221
25	35	18	-	-	C450	c CC	2.886
26	41	20	-	-	C450	c CC	2.811
27	25	20	-	-	C450	c CC	3.233
28	28	17	-	-	C450	c CG	3.016
29	36	17	-	-	C450	c CG	2.736
30	28	21	-	-	C450	c CG	3.016
31	44	21	-	-	C450	c CG	2.736
32	44	28	-	-	C450	AnillosCG	0.5369
33	28	36	-	-	C450	AnillosCG	0.5369
34	36	44	-	-	C450	AnillosCG	0.5369
35	43	27	-	-	C450	AnillosCC	0.6409
36	27	35	-	-	C450	AnillosCC	0.6409
37	35	43	-	-	C450	AnillosCC	0.6409
38	41	25	-	-	C450	AnillosCC	0.7967
39	25	33	-	-	C450	AnillosCC	0.7967
40	33	41	-	-	C450	AnillosCC	0.7967
41	42	26	-	-	C450	AnillosCC	0.7101
42	26	34	-	-	C450	AnillosCC	0.7101
43	34	42	-	-	C450	AnillosCC	0.7101
44	40	24	-	-	C450	AnillosCC_B	0.9526
45	24	32	-	-	C450	AnillosCC_B	0.9526
46	32	40	-	-	C450	AnillosCC_B	0.9526

\*\*\* TOTAL WEIGHT / VOLUMN / SURFACE AREA SUMMARY

SECTION NO	SECTION NAME	SURFACE AREA	VOLUMN	WEIGHT	FRAME NUMBER	TRUSS NUMBER
1	SP1	24.47	1.211	2907	3	0
2	SP2	64.61	2.982	7157	3	0
3	SP3	23.75	0.9993	2398	3	0
4	SP4	10.96	0.4415	1060	3	0
5	SP5	10.34	0.4047	971.3	3	0
6	SP6	12.44	0.4705	1129	3	0
7	SP7	1.189	0.04395	105.5	3	0
8	c CG	12.65	0.6902	1657	4	0
9	c CC	20.01	1.092	2620	6	0
10	AnillosCC	9.665	0.7088	1701	9	0
11	AnillosCG	2.255	0.1611	386.6	3	0
13	AnillosCC_B	5.43	0.5573	1337	3	0

\*\*\* LOAD DATA

; Self Weight, Nodal Load, Specified Displacement, Beam Load, Floor Load, Finishing Material Load, System Temperature, Nodal Temperature, Element Temperature, Beam Section Temperature, Wind Load, Static Seismic Load, Time History Analysis Data

[ LOAD CASE : E\_CEX ]

\*\* NODAL LOAD DATA

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
17	140.4	2073	-91.8	0	0	0
18	527.5	4848	-363	0	0	0
19	527.5	4848	-363	0	0	0
20	527.5	4848	-363	0	0	0
21	140.4	2073	-91.8	0	0	0

[ LOAD CASE : E\_FALL1 ]

\*\* NODAL LOAD DATA

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
19	527.5	4848	-363	0	0	0

PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports

20	527.5	4848	-363	0	0	0
21	140.4	2073	-91.8	0	0	0

[ LOAD CASE : E\_FALL2 ]

\*\* NODAL LOAD DATA

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
17	140.4	2073	-91.8	0	0	0
19	527.5	4848	-363	0	0	0
21	140.4	2073	-91.8	0	0	0

[ LOAD CASE : E\_FALL2-2 ]

\*\* NODAL LOAD DATA

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
17	140.4	2073	-91.8	0	0	0
20	527.5	4848	-363	0	0	0
21	140.4	2073	-91.8	0	0	0

[ LOAD CASE : E\_Cdiaria ]

\*\* NODAL LOAD DATA

NODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
17	2.2	1300	-91.8	0	0	0
18	8	2602	-363	0	0	0
19	8	2602	-363	0	0	0
20	8	2602	-363	0	0	0
21	2.2	1300	-91.8	0	0	0

[ LOAD CASE : Viento ]

\*\* WIND LOAD DATA : CDOE = UBC.1997


WIND LOADS BASED ON UBC1997(Projected Area Method) [UNIT: kgf, m]

Design Wind Loads :  $F = p * Af$   
 Design Wind Pressure :  $p = Ce * Cq + qs * Iw$   
 Exposure Category : C  
 Basic Wind Speed [mph] :  $V = 80.00$   
 Importance Factor :  $Iw = 1.00$   
 Pressure Coefficient :  $Cq = 1.35$   
 Wind Stagnation Pressure [psf] :  $qs = 16.40$   
 Scale Factor for X-directional Wind Loads :  $SFx = 1.00$   
 Scale Factor for Y-directional Wind Loads :  $SFy = 1.00$

\*\* Combined Height, Exposure and Gust Factor Coefficients (Ce)

STORY NAME	Ce
Roof	1.377
6F	1.373
5F	1.334
4F	1.301
3F	1.260
2F	1.173
1F	1.060

PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports


B1 0.000

\*\* Story Force = Wind Force x Scale Factor + Added Force

WIND LOAD GENERATION DATA X-DIRECTION									
STORY NAME	PRESSURE	ELEV.	LOADED AREA (H)	AREA (By)	WIND FORCE	ADDED FORCE	STORY FORCE	STORY SHEAR	OVERTURN`G MOMENT
Roof	148.861	15.6	0.1	0.45	6.6987614	0.0	6.6987614	6.6987614	0.0
6F	148.436	15.4	1.1	0.45	75.702247	0.0	75.702247	82.401008	1.3397523
5F	144.18	13.4	1.775	0.465	129.05905	0.0	129.05905	211.46006	166.14177
4F	140.639	11.85	1.55	0.555	127.52446	0.0	127.52446	338.98452	493.90486
3F	136.241	10.3	2.325	0.615	210.64613	0.0	210.64613	549.63064	1019.3309
2F	126.85	7.2	5.15	0.69	512.41087	0.0	512.41087	1062.0415	2723.1859
G.L.	--	0.0	--	--	--	--	--	1062.0415	10369.885

WIND LOAD GENERATION DATA Y-DIRECTION									
STORY NAME	PRESSURE	ELEV.	LOADED AREA (H)	AREA (Bx)	WIND FORCE	ADDED FORCE	STORY FORCE	STORY SHEAR	OVERTURN`G MOMENT
Roof	148.861	15.6	0.1	0.5196	7.7350634	0.0	7.7350634	7.7350634	0.0
6F	148.436	15.4	1.1	0.5196	530.27063	0.0	530.27063	538.00569	1.5470127
5F	144.18	13.4	1.775	3.5204	586.92597	0.0	586.92597	1124.9317	1077.5584
4F	140.639	11.85	1.55	0.7101	154.80397	0.0	154.80397	1279.7356	2821.2025
3F	136.241	10.3	2.325	0.7101	276.15197	0.0	276.15197	1555.8876	4804.7927
2F	126.85	7.2	5.15	0.9526	622.33075	0.0	622.33075	2178.2184	9628.0443
G.L.	--	0.0	--	--	--	--	--	2178.2184	25311.216

PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports

[ LOAD CASE : sismo ]

\*\* STATIC SEISMIC LOAD DATA : CDOE = UBC.1991

\* MASS GENERATION DATA FOR LATERAL ANALYSIS OF BUILDING (UNIT: kgf, m)

STORY NAME	TRANSLATIONAL MASS		ROTATIONAL MASS	CENTER OF MASS	
	(X-DIR)	(Y-DIR)		(X-COORD)	(Y-COORD)
Roof	5.37810515	5.37810515	0.48402946	0.0	0.0
6F	271.308506	271.308506	777.942173	0.0	-0.02765216
5F	248.538663	248.538663	396.084331	0.60462919	-0.01944099
4F	160.905897	160.905897	27.0482813	0.0	0.0
3F	418.16889	418.16889	978.18754	0.0	-0.02951905
2F	623.602476	623.602476	188.639749	0.0	0.0
1F	513.164756	513.164756	304.255384	0.0	0.0
B1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL :	2241.06729	2241.06729			

\* ADDITIONAL MASSES FOR THE CALCULATION OF EQUIVALENT SEISMIC FORCE

Note. The following masses are between two adjacent stories or on the nodes released from floor rigid diaphragm by \*Diaphragm Disconnect command. The masses are proportionally distributed to upper/lower stories according to their vertical locations. For dynamic analysis, however, floor masses and masses on vertical elements remain at their original locations.

STORY NAME	TRANSLATIONAL MASS	
	(X-DIR)	(Y-DIR)
Roof	0.0	0.0
6F	0.0	0.0
5F	0.0	0.0
4F	0.0	0.0
3F	0.0	0.0
2F	0.0	0.0
1F	0.0	0.0
B1	148.242588	148.242588
TOTAL :	148.242588	148.242588

\* EQUIVALENT SEISMIC LOAD IN ACCORDANCE WITH UNIFORM BUILDING CODE 1991 (UNIT: kgf, m)

Seismic Zone Factor (Z)	: 0.40
Importance Factor (I)	: 1.00
Soil Profile Coefficient (S)	: 1.50
Modified Fundamental Period for X-direction (Tx)	: 1.1000
Response Modification Factor for X-direction (Rx)	: 7.0000
Seismic Coefficient for X-direction (Cx)	: 1.759568
Modified Fundamental Period for Y-direction (Ty)	: 1.1000
Response Modification Factor for Y-direction (Ry)	: 7.0000
Seismic Coefficient for Y-direction (Cy)	: 1.759568
Total Effective Weight For X-dir. Seismic Loads (Wx)	: 16943.812285
Total Effective Weight For Y-dir. Seismic Loads (Wy)	: 16943.812285
Scale Factor For X-directional Seismic Loads	: 1.00
Scale Factor For Y-directional Seismic Loads	: 1.00
Total Base Shear Of Model For X-direction	: 1703.645503
Total Base Shear Of Model For Y-direction	: 1703.645503
Summation Of Wl*Hi Of Model For X-direction	: 179413.319704
Summation Of Wl*Hi Of Model For Y-direction	: 179413.319704

PROJECT TITLE :

	Company		Client	
	Author		File Name	reports

\*\* Story Force = Seismic Force x Scale Factor + Added Force

## SEISMIC LOAD GENERATION DATA X-DIRECTION

STORY NAME	WEIGHT	ELEV.	SEIS. FORCE	ADDED FORCE	STORY FORCE	STORY SHEAR	OVERTURN'G MOMENT	ECCENT. (Ex)	ACCIDENTAL TORSION
Roof	52.7377	15.60	138.39131	0.0	138.39131	138.39131	0.0	0.02325	3.2175981
6F	2660.451	15.40	359.08914	0.0	359.08914	497.48045	27.678263	0.02325	8.3488225
5F	2437.17	13.40	286.23115	0.0	286.23115	783.7116	1022.6392	0.02775	7.9429144
4F	1577.843	11.85	163.87339	0.0	163.87339	947.585	2237.3922	0.03075	5.0391069
3F	4100.564	10.30	370.175	0.0	370.175	1317.76	3706.1489	0.0345	12.771037
2F	6115.046	7.20	385.88551	0.0	385.88551	1703.6455	7791.2049	0.04125	15.917777
G.L.	--	0.00	---	--	---	1703.6455	20057.453	---	---

## SEISMIC LOAD GENERATION DATA Y-DIRECTION

STORY NAME	WEIGHT	ELEV.	SEIS. FORCE	ADDED FORCE	STORY FORCE	STORY SHEAR	OVERTURN'G MOMENT	ECCENT. (Ex)	ACCIDENTAL TORSION
Roof	52.7377	15.60	138.39131	0.0	138.39131	138.39131	0.0	0.3	41.517394
6F	2660.451	15.40	359.08914	0.0	359.08914	497.48045	27.678263	0.3	107.72674
5F	2437.17	13.40	286.23115	0.0	286.23115	783.7116	1022.6392	0.17602	50.382828
4F	1577.843	11.85	163.87339	0.0	163.87339	947.585	2237.3922	0.03551	5.8186594
3F	4100.564	10.30	370.175	0.0	370.175	1317.76	3706.1489	0.32	118.456
2F	6115.046	7.20	385.88551	0.0	385.88551	1703.6455	7791.2049	0.04763	18.380266
G.L.	--	0.00	---	--	---	1703.6455	20057.453	---	---

[ LOAD CASE : peso propio ]

\*\* SELF WEIGHT DATA

; X=0, Y=0, Z=-1

\*\*\* LOAD COMBINATION DATA

\*\* GENERAL

NO	NAME	TYPE	ACTIVE	DESCRIPTION
1	CV.Cex	Add	ACTIVE	servicio
2	CV.Fall1	Add	ACTIVE	servicio
3	CV.Fall2	Add	ACTIVE	servicio
4	CV.Fall2-1	Add	ACTIVE	servicio
5	CS.total	Add	ACTIVE	servicio
6	Cv.CEX2.5	Add	ACTIVE	diseño
7	Cv.F,1*1.~	Add	ACTIVE	diseño
8	Cv.F,2*1.~	Add	ACTIVE	diseño
9	Cv.F,2-1*~	Add	ACTIVE	diseño
10	CS.Tot*2.5	Add	ACTIVE	diseño mirar
11	CondDIARIA	Add	ACTIVE	0.45f'c

\*\* CONCRETE DESIGN

NO	NAME	TYPE	ACTIVE	DESCRIPTION
1	1b1	Add	STRENGTH	
2	LCB2	Add	STRENGTH	
3	LCB3	Add	STRENGTH	
4	LCB4	Add	STRENGTH	
5	sismo	Add	STRENGTH	
6	LCB6	Add	STRENGTH	
7	LCB7	Add	STRENGTH	
8	LCB8	Add	STRENGTH	
9	COM1	Add	STRENGTH	

**ANEXO 3.  
REPORTE CSI Col.**

---

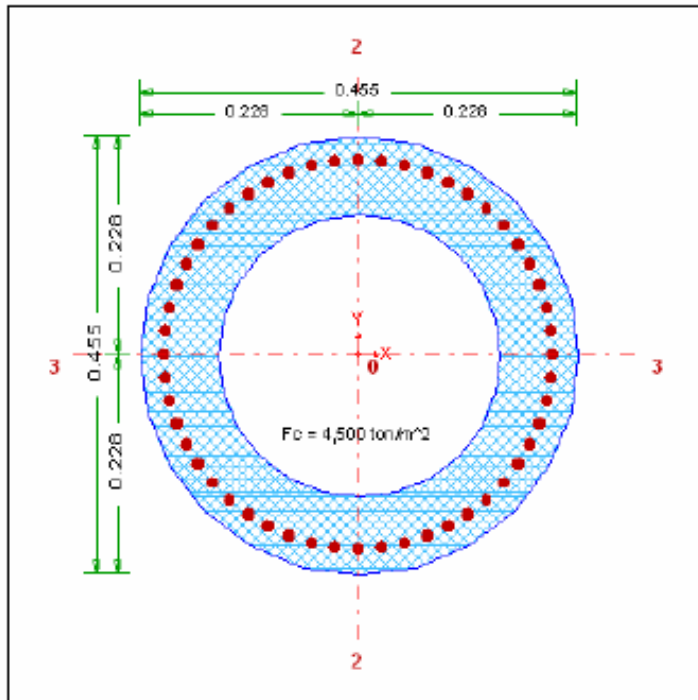
## Project Information

Project	CALCULO TIPO
Job No	01 (SECCION 1)
Company	
Designer	
Remarks	
Software	CSICOL (Version: 8.2 (Rev. 2))
File Name	C:\Documents and Settings\WILTON\Escritorio\PROYECTO VS MAYO 21\anexos\CSI_COL\CALCULO TIPO
Working Units	Metric (mm, Ton, Ton-m, Ton/m <sup>2</sup> )
Design Code	ACI-318-02

**Column:CONC4500**

### *Basic Design Parameters*

Caption	= CONC4500	
Default Concrete Strength, Fc	= 4500	ton/m <sup>2</sup>
Default Concrete Modulus, Ec	= 3200000	ton/m <sup>2</sup>
Maximum Concrete Strain	= 0.003	in/in
Rebar Set	= ASTM	
Default Rebar Yeild Strength, Fy	= 135000	ton/m <sup>2</sup>
Default Rebar Modulus, Es	= 20000000	ton/m <sup>2</sup>
Default Cover to Rebars	= 0.030	m
Maximum Steel Strain	= Infinity	
Transverse Rebar Type	= Spiral	
Total Shapes in Section	= 1	
Consider Slenderness	= Yes	



Section Diagram

### Cross-section Shapes

Shape	Width m	Height m	Conc Fou ton/m <sup>2</sup>	S/S Curve	Rebars
Hollow Circle	0.455	0.455	4500.000	ACI-Whitney Rectangular	52-d 3/8

### Rebar Properties

Sr.No	Designation	Area m <sup>2</sup>	Cord-X m	Cord-Y m	Fy ton/m <sup>2</sup>	S/S Curve
1	d 3/8	0.0001	0.430	0.228	135000	Elasto-Plastic
2	d 3/8	0.0001	0.429	0.252	135000	Elasto-Plastic
3	d 3/8	0.0001	0.424	0.276	135000	Elasto-Plastic
4	d 3/8	0.0001	0.417	0.299	135000	Elasto-Plastic
5	d 3/8	0.0001	0.407	0.322	135000	Elasto-Plastic
6	d 3/8	0.0001	0.394	0.343	135000	Elasto-Plastic
7	d 3/8	0.0001	0.379	0.362	135000	Elasto-Plastic
8	d 3/8	0.0001	0.362	0.379	135000	Elasto-Plastic
9	d 3/8	0.0001	0.343	0.394	135000	Elasto-Plastic
10	d 3/8	0.0001	0.322	0.407	135000	Elasto-Plastic
11	d 3/8	0.0001	0.299	0.417	135000	Elasto-Plastic
12	d 3/8	0.0001	0.276	0.424	135000	Elasto-Plastic
13	d 3/8	0.0001	0.252	0.429	135000	Elasto-Plastic
14	d 3/8	0.0001	0.228	0.430	135000	Elasto-Plastic
15	d 3/8	0.0001	0.203	0.429	135000	Elasto-Plastic
16	d 3/8	0.0001	0.179	0.424	135000	Elasto-Plastic
17	d 3/8	0.0001	0.156	0.417	135000	Elasto-Plastic
18	d 3/8	0.0001	0.133	0.407	135000	Elasto-Plastic
19	d 3/8	0.0001	0.112	0.394	135000	Elasto-Plastic
20	d 3/8	0.0001	0.093	0.379	135000	Elasto-Plastic
21	d 3/8	0.0001	0.076	0.362	135000	Elasto-Plastic
22	d 3/8	0.0001	0.061	0.343	135000	Elasto-Plastic
23	d 3/8	0.0001	0.048	0.322	135000	Elasto-Plastic
24	d 3/8	0.0001	0.038	0.299	135000	Elasto-Plastic
25	d 3/8	0.0001	0.031	0.276	135000	Elasto-Plastic

26	d 3/8	0.0001	0.026	0.252	135000	Elasto-Plastic
27	d 3/8	0.0001	0.025	0.228	135000	Elasto-Plastic
28	d 3/8	0.0001	0.026	0.203	135000	Elasto-Plastic
29	d 3/8	0.0001	0.031	0.179	135000	Elasto-Plastic
30	d 3/8	0.0001	0.038	0.156	135000	Elasto-Plastic
31	d 3/8	0.0001	0.048	0.133	135000	Elasto-Plastic
32	d 3/8	0.0001	0.061	0.112	135000	Elasto-Plastic
33	d 3/8	0.0001	0.076	0.093	135000	Elasto-Plastic
34	d 3/8	0.0001	0.093	0.076	135000	Elasto-Plastic
35	d 3/8	0.0001	0.112	0.061	135000	Elasto-Plastic
36	d 3/8	0.0001	0.133	0.048	135000	Elasto-Plastic
37	d 3/8	0.0001	0.156	0.038	135000	Elasto-Plastic
38	d 3/8	0.0001	0.179	0.031	135000	Elasto-Plastic
39	d 3/8	0.0001	0.203	0.026	135000	Elasto-Plastic
40	d 3/8	0.0001	0.228	0.025	135000	Elasto-Plastic
41	d 3/8	0.0001	0.252	0.026	135000	Elasto-Plastic
42	d 3/8	0.0001	0.276	0.031	135000	Elasto-Plastic
43	d 3/8	0.0001	0.299	0.038	135000	Elasto-Plastic
44	d 3/8	0.0001	0.322	0.048	135000	Elasto-Plastic
45	d 3/8	0.0001	0.343	0.061	135000	Elasto-Plastic
46	d 3/8	0.0001	0.362	0.076	135000	Elasto-Plastic
47	d 3/8	0.0001	0.379	0.093	135000	Elasto-Plastic
48	d 3/8	0.0001	0.394	0.112	135000	Elasto-Plastic
49	d 3/8	0.0001	0.407	0.133	135000	Elasto-Plastic
50	d 3/8	0.0001	0.417	0.156	135000	Elasto-Plastic
51	d 3/8	0.0001	0.424	0.179	135000	Elasto-Plastic
52	d 3/8	0.0001	0.429	0.203	135000	Elasto-Plastic

+52-d 3/8  
Total Area = 0.0037 m<sup>2</sup>  
Steel Ratio = 3.93 %

#### Basic Section Properties:

Total Width	= 0.455	m
Total Height	= 0.455	m
Center, Xo	= 0.000	m
Center, Yo	= 0.000	m
X-bar (Right)	= 0.2275	m
X-bar (Left)	= 0.2275	m
Y-bar (Top)	= 0.2275	m
Y-bar (Bot)	= 0.2275	m

#### Transformed Properties:

Base Material	= fc' = 4500	tn/m <sup>2</sup>
Area, A	= 0.09517	m <sup>2</sup>
Inertia, Ixx	= 0.00174	m <sup>4</sup>
Inertia, Iyy	= 0.00174	m <sup>4</sup>
Inertia, Ixy	= 0.000	m <sup>4</sup>
Radius, rx	= 0.13529	m
Radius, ry	= 0.13529	m

#### Additional Section Properties:

##### Transformed Properties:

Base Material	= fc' = 4500	tn/m <sup>2</sup>
Modulus, S3(Top)	= 0.00766	m <sup>3</sup>
Modulus, S3(Bot)	= 0.00766	m <sup>3</sup>
Modulus, S2(Left)	= 0.00766	m <sup>3</sup>
Modulus, S2(Right)	= 0.00766	m <sup>3</sup>
Plastic Modulus, Z3	= 0.01417	m <sup>3</sup>
Plastic Modulus, Z2	= 0.01231	m <sup>3</sup>
Torsional, J	= 0.00348	m <sup>4</sup>
Shear Area, A3	= 0.07291	m <sup>2</sup>

Shear Area, A2	= 0.0715	m^2
Principal Angle	= 0.00E+00	Deg
Inertia, I33'	= 0.00174	m^4
Inertia, I22'	= 0.00174	m^4

### Framing Along-X

Total C/C Length, Lc	= 3.100	m
Unsupported Length, Lu	= 3.100	m
Framing Type	= 1	
Framing Case	= 0	
K Factor, Braced	= 0.70	
KI/r, Braced	= 16.04	
K Factor, Unbraced	= 1.00	
KI/r, Unbraced	= 22.91	

### Framing Along-Y

Total C/C Length, Lc	= 3.100	m
Unsupported Length, Lu	= 3.100	m
Framing Type	= 1	
Framing Case	= 0	
K Factor, Braced	= 0.70	
KI/r, Braced	= 16.04	
K Factor, Unbraced	= 1.00	
KI/r, Unbraced	= 22.91	

### Detailed Loads

#### Non-Sway Part

Sr.No	Combination	Pu ton	Mu-Top ton-m	Mu-Bot ton-m	Pud ton
Along-X 1	Combination1	18.40	1.55	-0.76	13.05
Along-Y 1	Combination1	18.40	1.55	-0.76	13.05

#### Sway Part

Sr.No	Combination	Pu ton	Mu-Top ton-m	Mu-Bot ton-m	Story Vu ton	Story Pu ton	Rel. Drift m	Story Percit ton
Along-X 1	Combination1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.48E+00	1.84E+01	4.50E-02	0.00E+00
Along-Y 1	Combination1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.48E+00	1.84E+01	4.50E-02	0.00E+00

### Final Design Loads

Sr.No	Combination	Load Pu ton	Mux-Bot ton-m	Muy-Bot ton-m	Mux-Top ton-m	Muy-Top ton-m
1	Combination1	18.40	1.55	1.55	-0.76	-0.76

### Result Summary

Sr.No	Combination	Pu (ton)	Cap. Ratio-Bot	Cap. Ratio-Top	Remarks
1	Combination1	18.40	0.076	-0.036	Capacity Not OK

### Moment Magnification Calculations

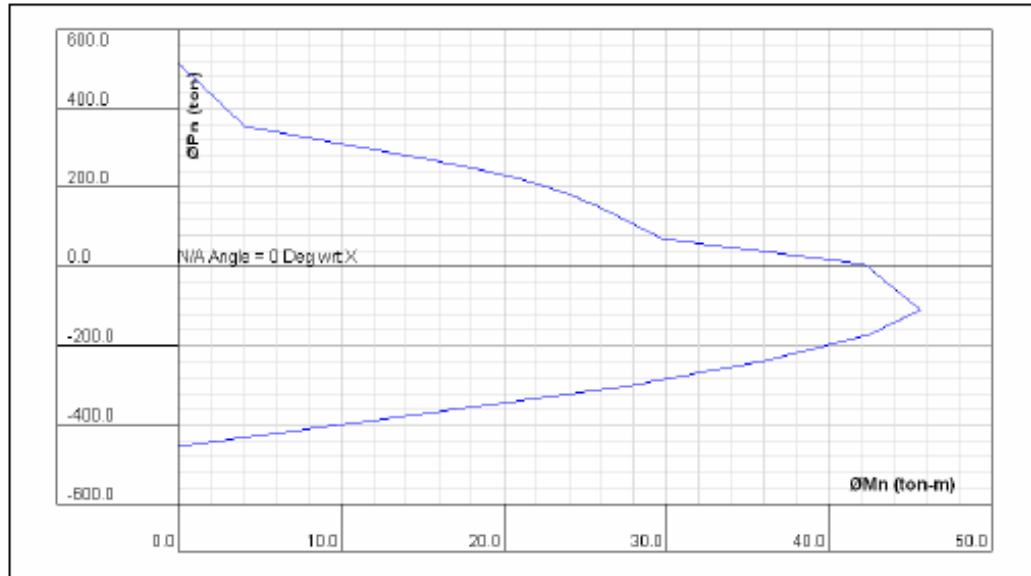
---

**Combination1- Along X**

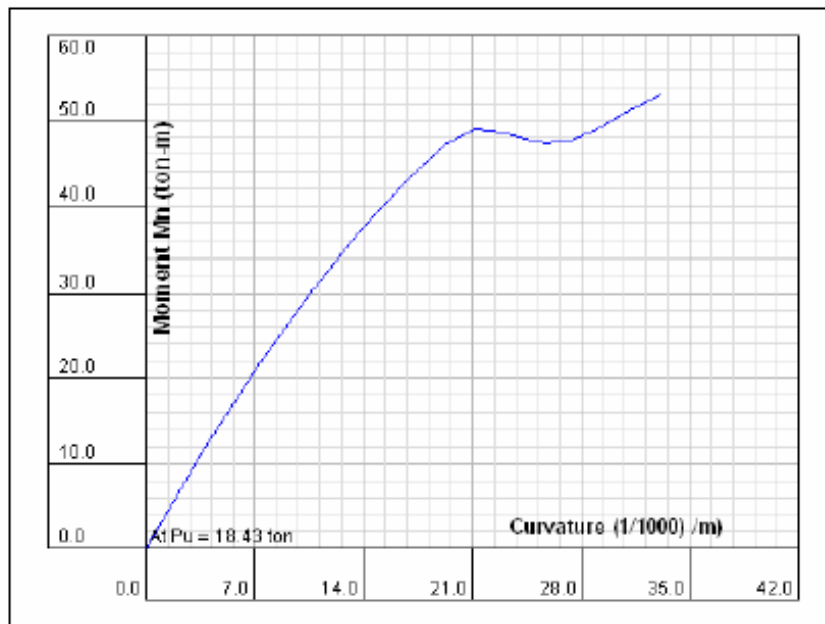
Bracing Condition	= Sway	
Non-Sway Part of Loading:		
Design Load, Pu	= 18.40	ton
Sustained Load, Pud	= 13.05	ton
End Moment, M1	= 1.55	ton-m
End Moment, M2	= -0.78	ton-m
Sway Part of Loading:		
Axial Load, Pu	= 0.00	ton
Sway Moment, M1s	= 0.00	ton-m
Sway Moment, M2s	= 0.00	ton-m
Non-Sway Moment, M1ns	= 1.55	ton-m
Non-Sway Moment, M2ns	= -0.78	ton-m
Sum of Column Design Loads	= 18.40	ton
Total Floor Shear, Vu	= 1.48	ton
Total Floor Load, Pu	= 18.40	ton
Relative Floor Sway	= 0.045	m
Stability Factor, Q	= 0.18	
Sway Moment Magnifier	= 1.22	
Design Load, Pu	= 18.40	ton
Magnified Moment, M1	= 1.55	ton-m
Magnified Moment, M2	= -0.78	ton-m

**Combination1- Along Y**

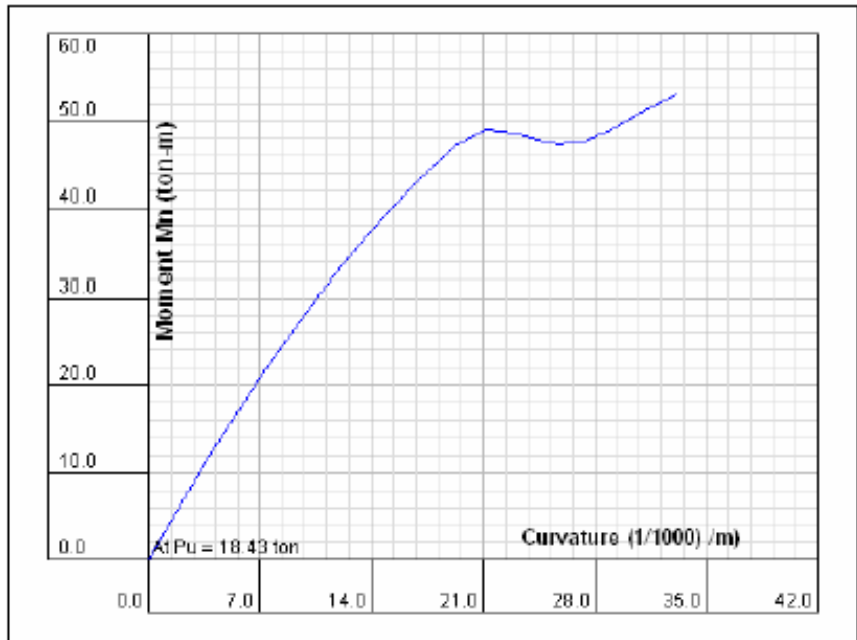
Bracing Condition	= Sway	
Non-Sway Part of Loading:		
Design Load, Pu	= 18.40	ton
Sustained Load, Pud	= 13.05	ton
End Moment, M1	= 1.55	ton-m
End Moment, M2	= -0.78	ton-m
Sway Part of Loading:		
Axial Load, Pu	= 0.00	ton
Sway Moment, M1s	= 0.00	ton-m
Sway Moment, M2s	= 0.00	ton-m
Non-Sway Moment, M1ns	= 1.55	ton-m
Non-Sway Moment, M2ns	= -0.78	ton-m
Sum of Column Design Loads	= 18.40	ton
Total Floor Shear, Vu	= 1.48	ton
Total Floor Load, Pu	= 18.40	ton
Relative Floor Sway	= 0.045	m
Stability Factor, Q	= 0.18	
Sway Moment Magnifier	= 1.22	
Design Load, Pu	= 18.40	ton
Magnified Moment, M1	= 1.55	ton-m
Magnified Moment, M2	= -0.78	ton-m



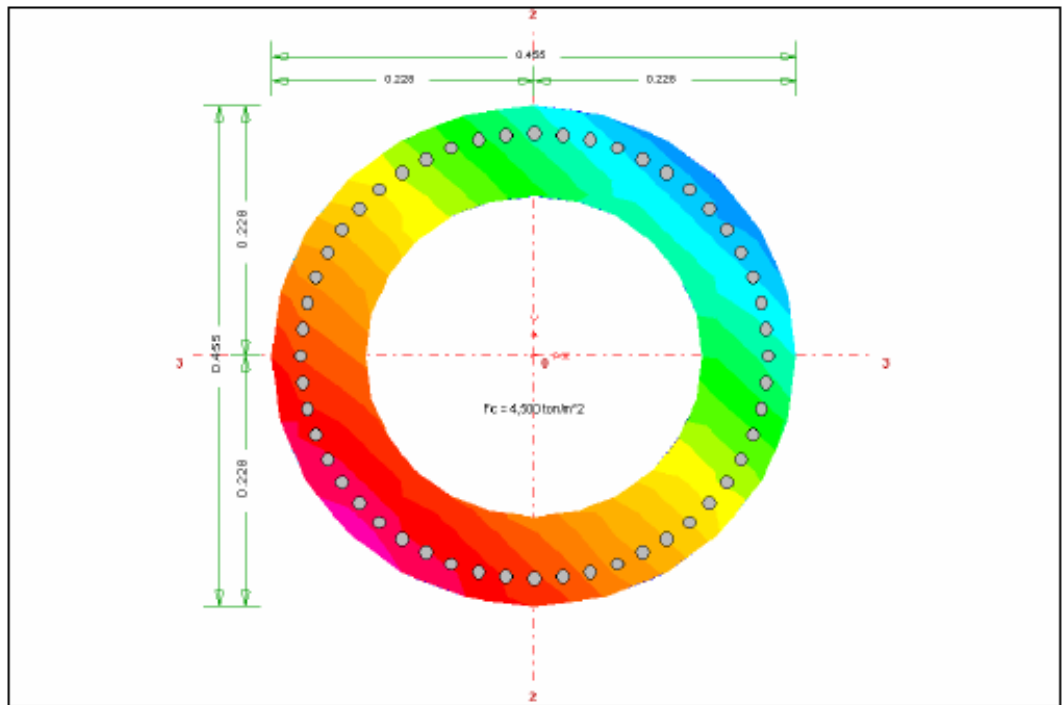
Load-Moment Interaction



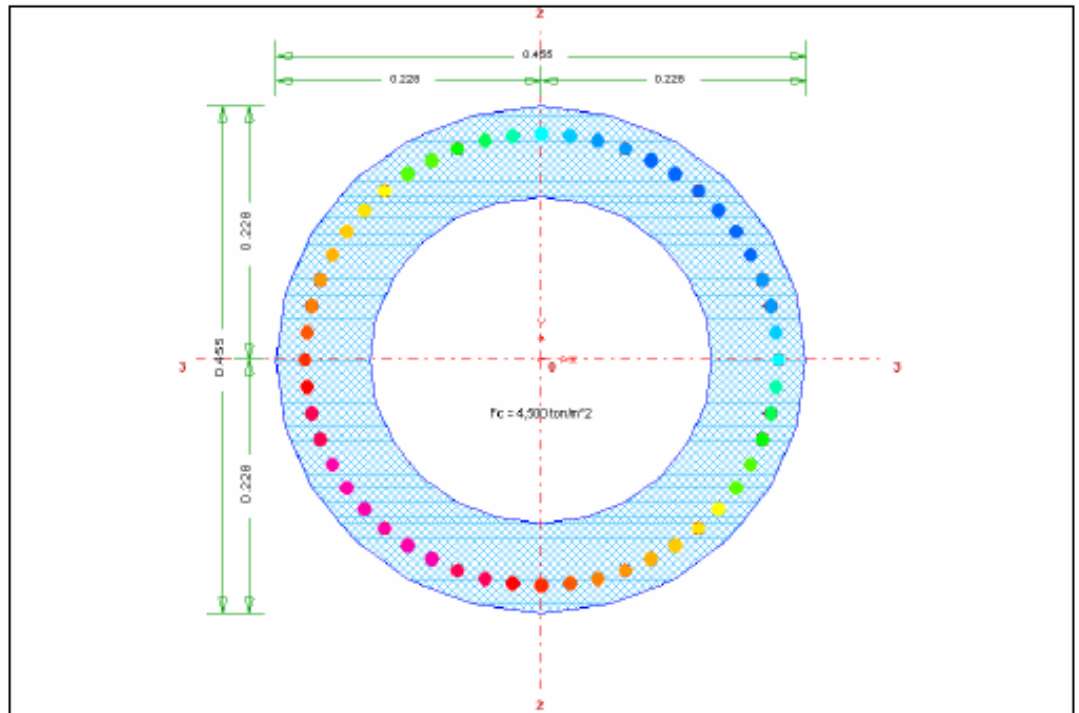
Moment-Curvature Curve (Angle = 0)



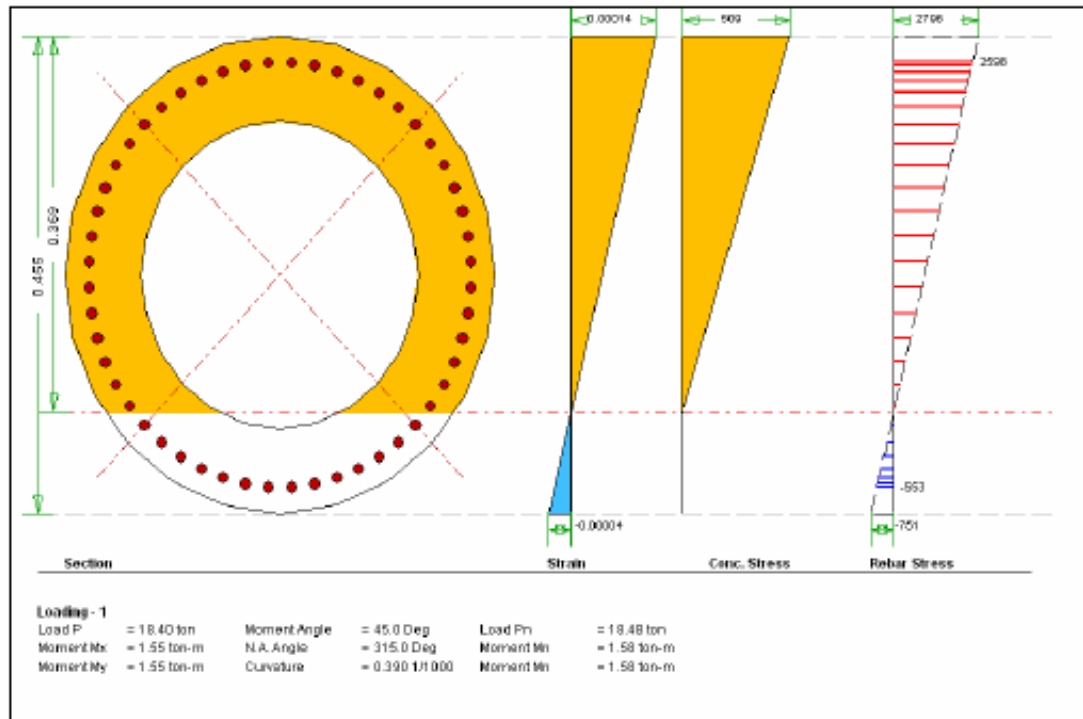
Moment-Curvature Curve (Angle = 0)



Elastic Stresses: Loading-1 (Bot)




Rebar Stresses: Loading-1 (Bot)



Rebar Stresses: Loading-1 (Bot)

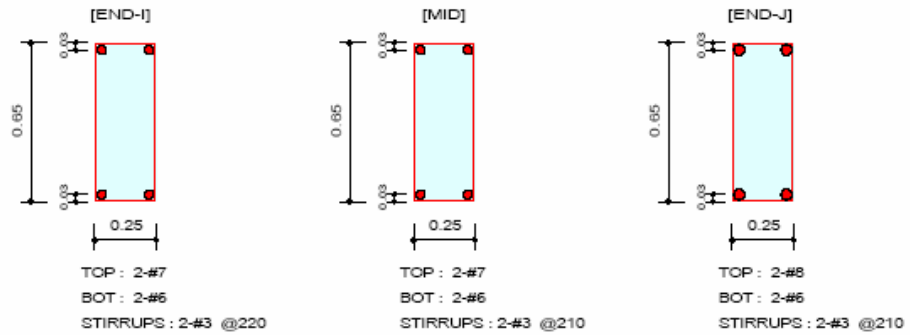
**ANEXO 4.  
REPORTE MIDAS Gen, DISEÑO  
ANILLOS DE RIGIDEZ**

	Company		Project Title	
	Author		File Name	D:\...DCp41\17Ton.mgb

1. Design Information

Member Number : 38  
 Design Code : ACI318-02  
 Unit System : kgf, m  
 Material Data :  $f_c = 4.5e+006$ ,  $f_y = 4.2e+007$ ,  $f_{ys} = 4.2e+007$  kgf/m<sup>2</sup>  
 Beam Span : 0.987269 m  
 Section Property : AnillosCC (No : 10)

2. Section Diagram



3. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
Negative Moment (Mu)	14519.07	15437.49	21697.51
Load Combination No.	3	5	5
Strength (PhiMn)	17646.41	17646.41	23026.99
Check Ratio (Mu/PhiMn)	0.8228	0.8748	0.9423
Positive Moment (Mu)	3192.88	0.00	0.00
Load Combination No.	5	8	8
Strength (PhiMn)	13038.00	13038.00	13038.00
Check Ratio (Mu/PhiMn)	0.2449	0.0000	0.0000
Required Rebar Top (As_top)	0.0006	0.0007	0.0010
Required Rebar Bot (As_bot)	0.0002	0.0000	0.0000

4. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Factored Shear Force (Vu)	25110.28	25312.42	25413.50
Shear Strength by Conc.(PhiVc)	13077.61	13077.61	13077.61
Required Shear Reinf. (AsV)	0.0616	0.0626	0.0632
Required Stirrups Spacing	2-#3 @220	2-#3 @210	2-#3 @210
Check Ratio	0.9963	0.9767	0.9806